



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut

Ott Pedosk

**ÕPPESTENDI "VEEKÖÖK" KATSETAMINE JA
KASUTUSELE VÕTMINE ÕPPEVAHENDINA**

TESTING AND IMPLEMENTATION FOR EDUCATIONAL
PURPOSES OF A WATER TREATMENT TRAINING STAND

Magistritöö
Vesiehituse ja veekaitse õppekava

Juhendajad: professor Mait Kriipsalu, *PhD*
teadur Egle Saaremäe

Tartu 2018

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Ott Pedosk		Õppekava: Vesiehitus ja veekaitse	
Pealkiri: Õpependi "Veeköök" katsetamine ja kasutusele võtmine õppevahendina			
Lehekülgi: 59	Jooniseid: 16	Tabeleid: 16	Lisasid: 21
Osakond / Õppetool:		Maaehituse ja veemajanduse õppetool	
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: Tehnikateadused T220			
Juhendaja(d):		PhD. Mait Kriipsalu, teadur Egle Saaremäe	
Kaitsmiskoht ja -aasta:		Tartu, 2018	
<p>Eestis on suured põhjavee varud ning vee kvaliteet on üldjoones hea. Ühisveevärgi vesi peab olema puhastatud sedavõrd, et oleks kaitstud inimeste tervis. See, mil määral tuleb vett töödelda kodumasinale ja kütteseadmetele sobivaks, jääb iga tarbija enda otsustada. Veetööstustehnoloogiatest ülevaate saamiseks projekteeriti ja ehitati Eesti Maaülikoolis Maaehituse ja veemajanduse õppetoolis veetööstusstend, mis nimetati "veeköögi". Stendil olevad veetööstusseadmed on kompaktsed ja kiirliitmike abil ühendatavad ning seda on võimalik käitada nii ühisveevärgi- kui kanistrivee toitel.</p> <p>Töö eesmärk on katsetada stendil olevate mahtfiltrite puhastusvõimet, koostada kasutusjuhend ja anda soovitusi stendi kasutamiseks õppevahendina.</p> <p>Puhastusvõime katsetamisel kasutati kahte vett: karedat ühisveevärgivett ja rauarikast toorvett. Veepehmenemise katsetamisel saadud tulemused olid ligilähedased arvutuslikult saadud tulemustega. Stendil olev veepehmenusseade ammendub 250 l juures. Rauaärastuse katsetamisel ammendub täielikult liivafilter 85 l juures, aktiivsöe filter 279 l juures.</p> <p>Õppevahendina kasutamiseks testiti stendi messidel ja festivalidel. Tulevikus on stendil võimalik uurida uudseid filtermaterjale ja erinevaid voolurežiime ning kasutada õpependi nii vesiehituse ja veekaitse eriala õppekavas kui ka gümnaasiumi ja põhikooli õppetöös.</p>			
Märksõnad: vee kvaliteedinäitajad, veepuhastus, rauaärastus			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Ott Pedosk		Curriculum: Hydraulic Engineering and Water Pollution Control	
Title: Testing and implementation for educational purpose of a water treatment training stand			
Pages: 59	Figures: 16	Tables: 16	Appendixes: 21
Department / Chair:		Chair of Rural Building and Water Management	
Field of research and (CERC S) code:		Technological sciences T220	
Supervisors:		PhD. Mait Kriipsalu, Egle Saaremäe	
Place and date:		Tartu, 2018	
<p>There are large groundwater reserves in Estonia and water quality is generally good. The quality of public water supply has to meet the demands of human health. The extent to which water is further treated to meet the requirements of household appliances and heating equipment is left to each customer. To get an overview of the water treatment technologies, a water treatment stand which was called 'the water kitchen', was designed and built at the Estonian University of Life Sciences, Chair of Rural Building and Water Management. The water treatment devices on the stand are compact, transparent and connected with quick couplings. The stand is easily transportable and can be operated on both public water supply and on transported water. The aim of the work was to test the purification capacity of filters, to draw up a user manual and to make recommendations for the use of the stand as a teaching tool. Two waters were used in experiments: hard water from public waterworks and raw groundwater with high iron content. The results of the tests were close to the calculated ones. The iron removal using sand filter was exhausted after passing 85 l, using activated carbon after 279 l and the water softener was exhausted after 250 l. The stand was exposed at trade fairs and festivals. Based on these public activities, the instructions were composed to use it as a teaching tool. In the future, it is possible to study any novel filter media and test various hydraulic regimes: Also, it is recommended to use a stand in the curriculum in the field of water engineering and water protection; as well as in the study programs of upper and lower secondary schools.</p>			
Keywords: water quality standards, water purification, iron removal			

SISUKORD

1. SISSEJUHATUS	6
2. JOOGIVESI.....	8
2.1. Eesti pinna- ja põhjavesi	8
2.2. Joogivee kvaliteedinõuded.....	11
2.3. Joogivee omadused	14
3. ÕPPESTEND	20
3.1. Üldine kirjeldus.....	20
3.2. Veetötlusseadmed stendil	23
3.3. Tarvikud ja toruarmatuur	30
4. ÕPPESTENDI KATSETAMINE.....	34
4.1. Eesmärk	34
4.2. Materjal ja meetodika	34
4.2.1. Katsekorraldus	34
4.2.2. Analüüsimetodid.....	38
4.2.3. Stendi sobivuse hindamine õppematerjalina	42
4.3. Tulemused ja arutelu.....	43
4.3.1. Vee pehmendamine	43
4.3.2. Rauaäärastus.....	45
4.3.3. Stend õppevahendina	48
4.3.4. Kasutusjuhend	52
KOKKUVÕTE	55
KASUTATUD KIRJANDUS	56
LISAD	58
Lisa 1. Õppestendi ”Veeköök” kasutusjuhend	
Lisa 2. Tehnoloogiline skeem	
Lisa 3. Skeemis ühendus jadamisi variandis 1	
Lisa 4. Skeemis ühendus jadamisi variandis 2	
Lisa 5. Skeemis ühendus rööbiti variandis 1	
Lisa 6. Skeemis ühendus rööbiti variandis 2	
Lisa 7. Skeemis aeraator liivafiltriga paaris	
Lisa 8. Aktiivsöe filter üksikult koos segunemisega	
Lisa 9. Veepehmendi üksikult koos segunemisega	
Lisa 10. Pöördosmoos koos veepehmendiga	

- Lisa 11. Õppestendi spetsifikatsioon
- Lisa 12. Pöördosmoosi spiraalmooduli spetsifikatsioon
- Lisa 13. Membraanpumba spetsifikatsioon
- Lisa 14. Kompressori kasutusjuhend
- Lisa 15. Veearvesti spetsifikatsioon
- Lisa 16. NAS kaugloetava anduri kasutusjuhend
- Lisa 17. UV-seadme spetsifikatsioon
- Lisa 18. pH testeri kasutusjuhend
- Lisa 19. Elektri juhtivuse testeri kasutusjuhend
- Lisa 20. Hägususe testeri kasutusjuhend
- Lisa 21. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

1. SISSEJUHATUS

Iga ühiskonna üks peaesmärke on tagada inimestele tervislik ja ohutu joogivesi. „Igaühe õigus veele võimaldab realiseerida inimese õigust elule, tervise kaitsele ja inimväärikusele“ (Terviseamet 2018). Eestis on suured põhjavee varud, mis on eelduseks elanikkonda veega hästi varustada. Põhjavee kvaliteet on üldjoones hea, kuid kohati ületab raua-, mangaani-, fluoriidi-, ammoniumi-, ja kloriidisisaldus norme. Veekvaliteedi parandamisega peame tegelema pidevalt. Eesti kehtiv määrus (RT I, 27.09.2017,2) „*Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid*“ aitab tagada eelkõige seda, et inimeste tervis oleks kaitstud. See, kas vett tuleb töödelda kodumasinatega ja kütteseadmetega sobivaks, jääb iga majapidamise enda otsustada. Veetöötlustehnoloogiatest hea ülevaate saamiseks projekteeriti ja ehitati Eesti Maaülikooli Maaehituse ja veemajanduse õppetoolis veetöötlustend.

Õppestendil on võimalik demonstreerida peamisi joogivee töötlemises kasutatavaid meetodeid ja seadmeid. Stend on tehtud hõlpsasti transporditav. Seadmed on valitud kompaktsed, olulised sõlmed on läbipaistvad ja kiirliitmike abil ühendatavad. Stendi on võimalik käitada nii ühisveevärgi- kui kanistrivee toitel. Töö raames katsetati filtrite töötsükleid vee pehmendamisel ja rauaärastusel. Vee pehmendamise uurimisel kasutati karedat ühisveevärgi vett, et katseliselt leida ioonvahetusvaigu töötsükkel ning võrreldi seda arvutuslikult saadud tulemusega. Rauaärastuse katsel kasutati rauarikast toorvett, uuriti erinevate täitematerjalide puhastusvõimet eraldi ja jadamisi ühendusel.

Stendi kasutusele võtmiseks õppevahendina, osaleti messidel, teadusfestivalil ning loodi õppeprogramm „Mis on vee sees?“. Selle raames demonstreeriti veepuhastusseadmeid, uuriti nende puhastusvõimet ja analüüsiti toorvett ning võrreldi eri töötlusastmeid läbinud vett. Magistritöö raames uuriti võimalusi seostada veetöötlustendi üldharidusastme-, gümnaasiumi-, ja keskhariduse õppekavaga.

Soovin tänada juhendajat prof. Mait Kriipsalu, kaasjuhendajat teadur Egle Saaremäed magistritöö valmimisel kaasa aitamisel. Abivalmiduse eest tänan Toomas Tamme, Alo Libekit, Elmo Raudpuud. Tänan OÜ Miridoni, AS Tartu Veevärki ja AS Emajõe Veevärki

2. JOOGIVESI

2.1. Eesti pinna- ja põhjavesi

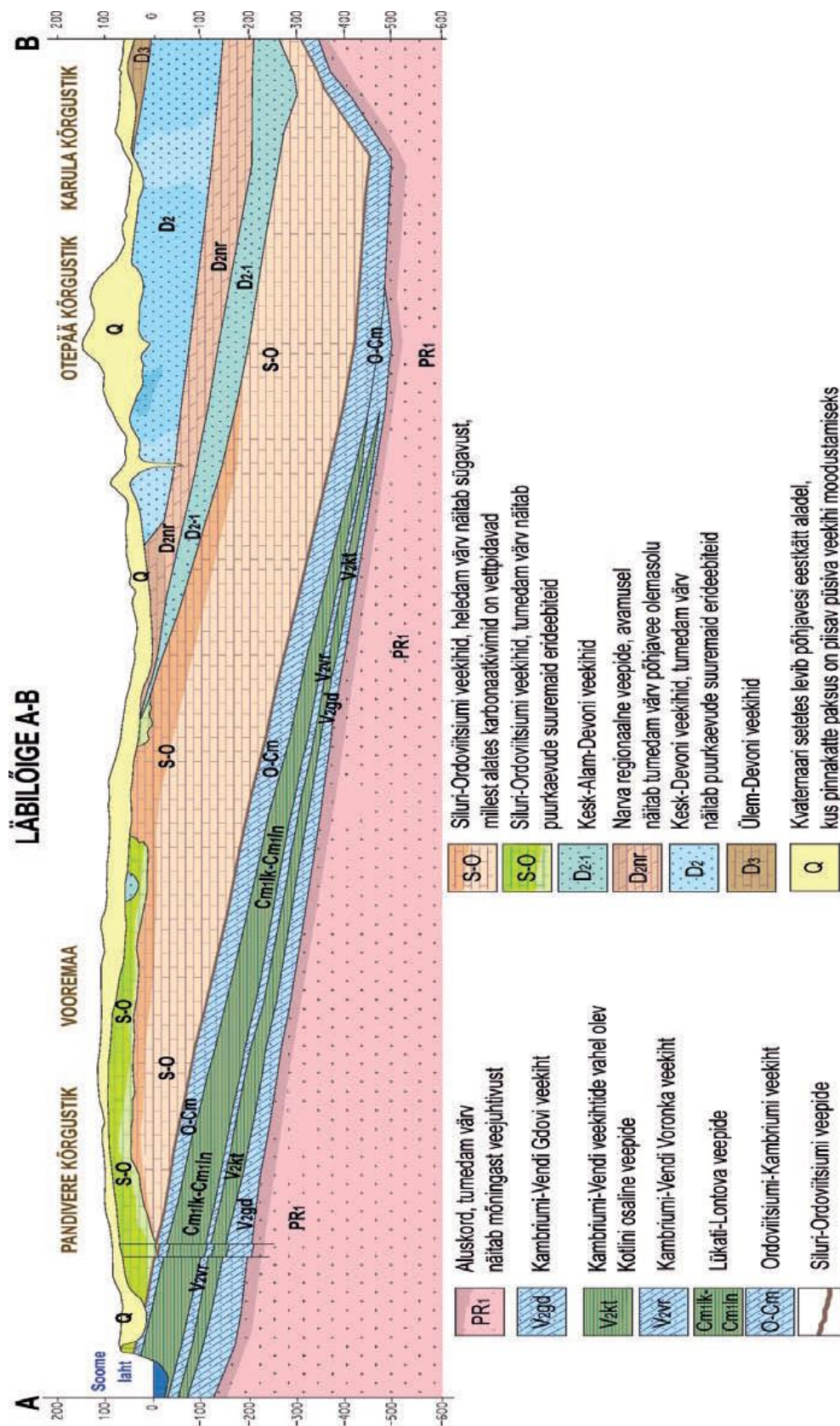
Joogivesi ehk olmevesi on igapäevaelus kasutatav vesi, mis on mõeldud joomiseks, toiduvalmistamiseks või muuks olmeotstarbeks. Olmevee allikateks Eestis on pinnavesi (ligikaudu 40%, Tallinnas ja Narvas) ja põhjavesi (ligikaudu 60 %, kõikjal mujal Eestis). Põhjavesi on Eesti tähtsaim joogiveeallikas, puhta põhjavee varud on suured (Põhjaveekomisjon 2004).

Eesti elanikkond on joogiveega hästi varustatud. Ligikaudu 86,15 % elanikest kasutab Eestis ühisveevärgi vett, ülejäänud osa saab vee individuaalsetest puur- ja salvkaevudest. Riikliku järelevalve all on 1246 veevärki (Terviseamet 2018).

Eesti geoloogilise läbilõike aluse moodustab monoliitne aluskord, mis koosneb kristalsetest moonde- ja tardkivimitest. Kohati esineb aluskorra kivimite mõnekümne meetri paksuses ülemises osas lõhesid, kus leidub vähesel määral ka vett (Alam-Proterosoikumi veekiht). Aluskorral lasub pealiskord (joonis 1), kus kõige all on Vendi, seejärel Kambriumi, Ordoviitsiumi, Siluri ja Devoni ladestu settekivimitest ning kõige peal pinnakate, mille moodustavad Kvaternaari ladestu purdsetted. Põhjavesi esineb kogu Eesti territooriumil. Enamasti on põhjaveekihtid maapinna läheduses ja kergesti kättesaadavad. Kulukam on veekihi kasutuselevõtt aladel, kus veekiht asub sügaval vettpidavate sette või kivimite all – nagu kohati Lõuna-Eesti moreenikõrgustikel ja Põhja-Eesti rannikualadel (Eesti põhjavee... 2004).

Aluspõhja settekivimite läbilõikes vahelduvad vettjuhtivad liivakivid ja karbonaatsed kivimid (lubjakivi ja dolomiit) vettpidavate savi, mergli, savika lubjakivi ning monoliitse lubjakivi kihtidega. Liivakivis on vett kogu läbilõike ulatuses, karbonaatkivimite veeand sõltub nende lõhelisusest ja väheneb kiiresti sügavuse suunas. Alates 100 – 200 meetri sügavusest on karbonaatkivimid enamasti monoliitsed ja veetud, Lääne-Eestis muutuvad karbonaatkivimid vettpidavaks juba 40 meetri sügavusest alates. Lõuna-Eestis on sügaval paiknevate veekihtide vesi soolane ja seda kasutatakse mineraalveena.

Põhjavett, mida kasutatakse või soovitakse tulevikus joogiveallikana kasutusele võtta käsitletakse veemajanduskavades (Eesti põhjavee... 2004). Veemajanduskava on vete kaitse ja kasutamise strateegia, mis koostatakse jõgede, järvede, rannikuvee ja põhjavee looduslikult hea seisundi saavutamiseks või hoidmiseks. Veemajanduskava koostatakse igale vesikonnale (Eestis on Ida-Eesti, Lääne-Eesti ja Koiva vesikond). 2014 aasta seisuga oli 79 % põhjaveekogumitest heas või väga heas seisundis. Põhjavee kaitsmise seisukohalt olulisemad reostuskoormusallikad on kanaliseerimata alad ja heitveelasud, lekked endistelt reostunud tööstusaladelt ja jäätmete ladustamisest ning hajukoormus põllumajandusest. Samuti mõjutab põhjaveekogumeid kaevandustegevus (Veemajanduskavad... 2018).



Joonis 1. Põhjaveekihtide ja veepidemete paiknemine (Eesti põhjavee... 2004)

2.2. Joogivee kvaliteedinõuded

Joogivee kvaliteedi reglementeerimise põhilisi eesmärgi on tagada selle epidemioloogiline ohutus, s.t välistada haiguste levik joogivee kaudu. Joogivesi ei tohi sisaldada toksilisi (mürgiseid) ühendeid ning ta peab olema tarbimiseks vastuvõetavate organoleptiliste omadustega. Eestis on joogivee nõutav kvaliteet reguleeritud sotsiaalministri 31.07.2001 määrusega nr 82 'Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid'. (RT I, 27.09.2017,2) Määrus on kehtestatud kooskõlas Euroopa Liidu joogivee direktiiviga 98/83 (Nõukogu direktiiv 98/83/EÜ).

Määruses jagatakse joogivee nõutavad omadused kaheks (RT I, 27.09.2017,2)

- 1) keemilised ja mikrobioloogilised kvaliteedinäitajad, mis tagavad joogivee terviseohutuse;
- 2) indikaatornäitajad, s.o vee füüsikalise-keemilised ja teatud mikrobioloogilised omadused, mis mõjutavad vee organoleptilisi omadusi ja iseloomustavad vee üldist reostust.

Vee radioloogilised kvaliteedinäitajad on määruses eraldi reglementeeritud.

Määrus (RT I, 27.09.2017, 2) loeb joogivee tervislikuks ja puhtaks, kui see ei sisalda mikroorganisme, parasiite ega mis tahes aineid sellisel arvul ega sellises koguses, mis kujutab potentsiaalset ohtu inimeste tervisele. Mikrobioloogilised ja keemilised kvaliteedinäitajad ning radioloogilised näitajad peavad jääma etteantud piiridesse. Määrus eristab ühisveevärgi, mahutite ja tsisternide kaudu edastatava vee ning pudelitesse ja kanistritesse villitava vee. Määruses nr 82 on antud ka veeanalüüside tegemise kord: veeproovide võtmise sagedus, analüüsimeetodid ning nende täpsus jm.

Joogivee mikrobioloogilised, keemilised ja organoleptilised kvaliteedinäitajad on tabelites 1 – 3.

Tabel 1. Mikrobioloogilised kvaliteedi- ja indikaatornäitajad joogivees
(RT I, 27.09.2017, 2)

Näitaja	Ühik	Norm
Ühisveevärgi, mahutite ja reservuaaride vesi		
<i>Escherichia coli</i>	PMÜ/100ml	0
<i>Enterokokid</i>	PMÜ/100ml	0
<i>Clostridium perfringens</i>	PMÜ/100ml	0
Kolooniate arv 22 °C	PMÜ/ml	100
<i>Coli</i> -laadsed bakterid	PMÜ/ml	0
Pudelitesse ja kanistritesse villitud vesi		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	PMÜ/250ml	0
Kolooniate arv 22°C	PMÜ/ml	100
Kolooniate arv 37°C	PMÜ/ml	20
<i>Clostridium perfringens</i>	PMÜ/100ml	0
Kolooniate arv 22 °C	PMÜ/ml	100
<i>Coli</i> -laadsed bakterid	PMÜ/ml	0

PMÜ – pesa moodustav ühik (inglise keeles CFU – *colony forming unit*), kokkuleppeline ühik, mis väljendab minimaalset mikroobide hulka, mis on võimeline moodustama söötmel eraldiseisvaid pesi ehk koloonaid.

Tabel 2. Keemilised kvaliteedinäitajad joogivees (RT I, 27.09.2017, 2)

Näitaja	Ühik	Norm
Akrüülamiin	µg/l	0,10
Antimon	µg/l	5,0
Arseen	µg/l	10
Benseen	µg/l	1,0
Benso(a)püreen	µg/l	0,010
Boor	µg/l	1000
Bromaat	µg/l	10
1,2-dikloroetaan	µg/l	3,0
Elavhõbe	µg/l	1,0
Epokloorhüdrin	µg/l	0,10
Fluoriid	µg/l	1,5
Kaadmium	mg/l	5,0
Kroom	µg/l	50
Nikkel	µg/l	20
Nitraat	mg/l	50
Nitrit	µg/l	500
Pestitsiidid	µg/l	0,10
Pestitsiidide summa	µg/l	0,50
Plii	µg/l	10
Polütsüklilised aromaatsed süsivesinikud (PAH)	µg/l	0,10
Seleen	µg/l	10
Tetrakloroeteen ja trikloroeteen	µg/l	10
Trihalometaanide summa	µg/l	100
Tsüaniidid	µg/l	50
Vask	µg/l	2000
Vinüülkloriid	µg/l	0,50

Tabel 3. Füüsikalisi-keemilisi indikaatoreid ja radioloogilisi näitajaid joogivees
(RT I, 27.09.2017, 2)

Näitaja	Ühik	Norm
Alumiinium	mg/l	0,2
Ammonium	mg/l	0,5
Elektrijuhtivus	µS/cm 20 °C juures	2500
Jääkkloor	mg/l	>0,2 ja <0,5
Jääkosoon	mg/l	0,3
Kloriid	mg/l	250
Mangaan	mg/l	0,05
Naatrium	mg/l	200
Oksüdeeritavus	mg O ₂ /l	5,0
Orgaanilise süsiniku sisaldus		ilma muutuseta
Raud	mg/l	0,2
Sulfaat	mg/l	250
Vesinikioonide kontsentratsioon	pH	>6,5 ja <9,5
Hägusus	NTU	tarbijale vastuvõetav
Maitse		tarbijale vastuvõetav
Lõhn		tarbijale vastuvõetav
Värvus		tarbijale vastuvõetav
Radioloogilised näitajad		
Tritium ja radooni sisaldus	Bq/l	100
Efektiivdoos	mSv/a	0,10

2.3. Joogivee omadused

Karedus

Vee karedust põhjustavad vees lahustunud kaltsiumi- ja magneesiumiühendid. Kaltsium ja magneesium on inimese organismile vajalikud elemendid, mistõttu joogivee kareduse kohta piirnормi ei ole. Samas on vees lahustunud soolad probleemiks tehnilistele seadmetele, sest kare vesi põhjustab katlakivi tekkimist. Katlakivi sadestub vee kuumutamisel veega kokku puutuvate seadmete pindadele. (Emajõe Veevõrk 2018)

Lahustunud kaltsium- ja magneesiumisoolade sisaldust väljendatakse ühes liitris vees sisalduvate kaltsium- ja magneesiumioonide hulga milligramm-ekvivalentide (mg-ekv/l) või kareduskraadides (°dH) (tabel 4).

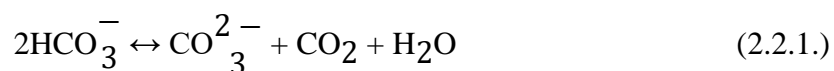
Tabel 4. Karedus (Eesti vesi OÜ 2018)

Karedus	mg-ekv/l	°dH
Pehme	0–1	0–0,28
Mõõdukalt pehme	1–2	2,8–5,6
Nõrgalt kare	2–3	5,6–8,4
Mõõdukalt kare	3–4	8,4–11,2
Kare	4–6	11,2–16,8
Väga kare	>6	>16,8

Veepehmendamiseks kasutatakse mitmesuguseid menetlusi, nt: reagentmenetlus, membraanmenetlus, vee magnettootlus. Omaveevärgis on laialt levinud kationiitmenetlus. Kationiit on teraline ionvahetusmaterjal, milles kõrgmolekulaarsed ühendid, mis koosnevad lahustumatust skeletist ja selle külge kationiidi laadimise käigus sorbeeritud vahetusioonidest – katioonidest (Karu 2016).

pH, leelisus ja karbonaatsus

Vee aktiivreaktsiooniks nimetatakse vesinikioonide kontsentratsiooni negatiivset logaritmi ning seda tähistatakse pH. Neutraalse lahuse korral $\text{pH} = 7$, happelise lahuse korral $\text{pH} < 7$ ja leeliselise lahuse korral $\text{pH} > 7$. pH-st olenevad paljud veetöötlusprotsessid. (Karu 2016) Leelisuseks nimetatakse üldjuhul H^+ -ioonidega reaktsiooni astuvate anioonide sisaldust. Looduslikus vees on sellisteks põhiliselt süsihappeühendid: H_2CO_3 , CO_2 , HCO_3^- ja CO_3^{2-} . Dissotsieerumata H_2CO_3 kontsentratsioon looduslikus vees on tühine, ülejäänud süsihappeühendid on aga dünaamilises tasakaalus vastavalt võrrandile 2.2.1.

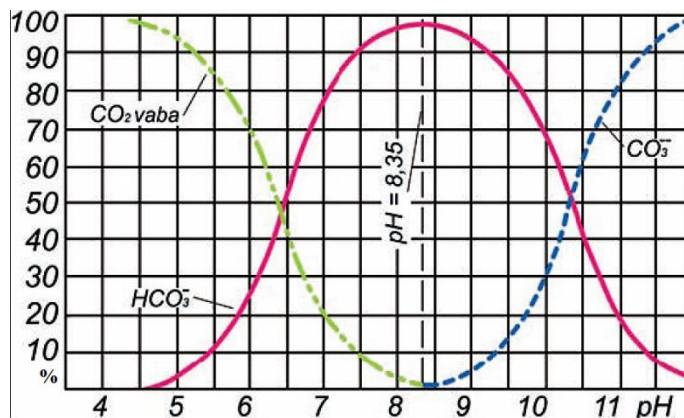


CO_2 hulka, mis on vajalik HCO_3^- püsiva kontsentratsiooni säilitamiseks vees, nimetatakse tasakaaluliseks süsihappeks. Kui vees on CO_2 üle tasakaalulise koguse, nimetatakse seda ülejääki agressiivseks süsihappeks. Viimane lahustab tahket CaCO_3 vastavalt võrrandile (2.2.2.)



põhjustades sellega betooni korrosiooni ja metalltorude karbonaatse kaitsekile lahustumise. Kui CO_2 on vees alla tasakaalulise koguse, toimub vastavalt võrrandile (2.2.1.) teatud koguse vesinikkarbonaatiooni lagunemine ning CO_2 teke, mis reageerib vees olevate

Ca^{2+} -ioonidega, moodustades vähelahustuva CaCO_3 . Viimane sadeneb, põhjustades katlakivi teket ja torustike ummistumist. Süsihappeühendite suhteline sisaldus looduslikus vees sõltub vee pH-st vastavalt joonisele 2. Nagu jooniselt 2 näha, on happelises keskkonnas kogu süsihappe vees CO_2 -na, pH = 8,4 korral bikarbonaatioonina ning pH > 12 puhul karbonaatioonina (Karu 2016).



Joonis 2. Süsihappegaasi, vesinikkarbonaadi ja karbonaadi vahekord vees (%-des) sõltuvalt vee pH-st (Manahan 2005)

Vastavalt sotsiaalministri määrusele (RT I, 27.09.2017, 2) peab joogivee pH jääma vahemikku 6,5 kuni 9,5. Tartu Veevärk AS-i joogivee kvaliteedi andmetel on joogivee pH Tartu ühisveevärgis vahemikus 7,2 kuni 8,0 (põhjavesi) Tallinna Vesi AS-i andmetel on joogivee pH Tallinnas ja selle lähiümbruses vahemikus 7,08 kuni 7,43 (pinnavesi) (Tartu Veevärk 2018; Tallinna vesi 2018).

Elektrijuhtivus

Elektrijuhtivus on võime juhtida elektrivoolu, mis on omane ainetele, mis sisaldavad laenguga osakesi (ioone või elektrone). Elektrivälja mõjul hakkavad need aineosakesed korrapäraselt liikuma ja moodustavad elektrivoolu. Vee elektrijuhtivust iseloomustab erielektrijuhtivus, mille mõõtühik on siimensit meetri kohta (S/m). Vesi ei tohi olla agressiivne, sest ei tohi põhjustada joogiveega kokku puutuvate seadmete ja materjalide korrosiooni. Mida suurem on elektrijuhtivus, seda suurem on vee korrosioonivõime (Terviseamet 2018).

Puhas vesi on halb elektrijuht anioonide ja katioonide sisalduse suurenedes elektrijuhtivus suureneb. Põhilised katioonid looduslikus vees on kaltsium (Ca^{2+}), naatrium (Na^+), kaalium (K^+), magneesium (Mg^{2+}) ning peamised anioonid on kloriid (Cl^-), sulfaat (SO_4^{2-}), karbonaat (CO_3^{2-}) ja vesinikkarbonaat (HCO_3^-). Kui vees suureneb lahustunud ainete kontsentratsioon, siis tõuseb ka lahuse elektrijuhtivuse näitaja (S). Vastavalt sotsiaalministri määrusele nr 82, on elektrijuhtivuse piirmäär joogivees $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$ 20°C juures (RT I, 27.09.2017, 2). Mineraalvee elektrijuhtivust ei reglementeerita.

Vee hägusus

Vee muudavad häguseks vees lahustumatud ained. Osa neist satub vette juba veeallikast. Osa hägu tekib, kui vesi puutub kokku õhuga (rauaühendid, lahustunud lubjakivi välja sadenemine). Hägususe hindamiseks kasutatakse nefelomeetrilist hägususühikut NHÜ (inglise keeles NTU – *nephelometric turbidity unit*), mis vastab $0,58 \text{ mg}$ kaoliini (SiO_2) tekitatud hägususele ühes dm^3 vees. Ebarahuldav on vesi, mille hägusus on üle 5 NHÜ ($2,9 \text{ mg}/\text{dm}^3$) (Terviseamet 2018).

Vee hägususe määramiseks kasutatakse fotoelemendil põhinevat nefelomeetrilist seadet, mis muudab läbi uuritava vee suunatud valguskiirguse elektriliseks signaaliks. Signaali tugevus registreeritakse aparadi skaalal. Igale seadmele koostatakse standardlahuse abil tareerimiskõver, mis võimaldab elektrilise näidu põhjal saada tulemuse kas mg/l või NHÜ-des. Hägusust määratakse puhastatud vee (joogivee) iseloomustamiseks väga sageli. Nii heljumisisaldus, läbipaistvus kui hägusus on tingitud samadest vees olevatest lisanditest ning määravad ära veele antava kvalitatiivse hinnangu – sogasuse. Vastavalt vee hägususele (heljumisisaldusele) võib looduslikku vett liigitada:

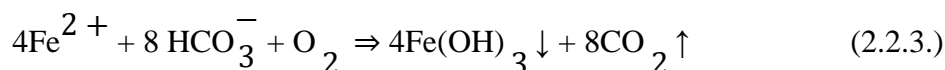
- vähesogaseks (hägusus kuni $20 \text{ mg}/\text{l}$),
- mõõdukalt sogaseks ($20 - 50 \text{ mg}/\text{l}$)
- sogaseks (hägusus üle $50 \text{ mg}/\text{l}$). (Karu 2016)

Rauasisaldus

Eesti põhjavesi on rauarikas. Raud esineb põhjavees tavaliselt lahustunud kujul Fe^{2+} -ioonina, olles tasakaalustatud bikarbonaatidega HCO_3^- . Pinnavees on raud kas kompleksühendite koostises või peendisperse häguna $\text{Fe}(\text{OH})_3$. (Karu 2016)

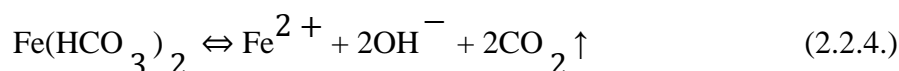
Kõrgendatud rauasisaldus mõjutab vee organoleptilisi omadusi, põhjustab sanitaartechniliste seadmete määrdumist, pruunika sademe teket torustikes ning reservuaaride ja basseinode põhjas. Rauarikas vesi on soodne keskkond rauabakterite arenguks, mille tagajärjel intensiivistub korrosioon ning võib toimuda torustiku ummistumine korrosioonisaadustega (Karu 2016).

Fe^{2+} on võimeline vähelahustuvateks ühenditeks $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ja FeCO_3 seotuna välja sadenema kõrge pH korral – $\text{Fe}(\text{OH})_2$ -na $\text{pH} > 10,3$ ning FeCO_3 -na $\text{pH} > 8,4$ juures. Seetõttu toimub rauaärastus põhjaveest järgmise skeemi kohaselt – esmalt oksüdeeritakse Fe^{2+} õhuhapniku või oksüdantide abil Fe^{3+} -ks. Selle tulemusena tekib vähelahustuv kolloidne $\text{Fe}(\text{OH})_3$, mida on kerge filtrimise teel veest eemaldada. Fe^{2+} oksüdeeritakse enamjaolt aereerimisel õhuga, ehkki võimalik on vett aereerida ka puhta hapniku või osooniga. Aereerimisel rikastatakse vett õhuhapnikuga ning ühekorraga eraldatakse veest ka tekkiv süsihappegaas vastavalt võrrandile 2.2.3.



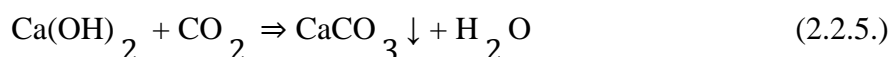
Fe^{2+} oksüdatsiooni kiirus sõltub vee temperatuurist ja pH-st ning katalüsaatorite olemasolust – temperatuuri ja pH suurenedes suureneb ka reaktsiooni kiirus, samasugust mõju avaldab katalüsaatorite, näiteks $\text{Fe}(\text{OH})_3$ sademe lisamine.

Tuleb arvestada, et põhjavees on vaba süsihape ning $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ dünaamilises tasakaalus vastavalt võrrandile 2.2.4.



Seega, mida rohkem on vees CO_2 , seda enam rauda esineb molekulaarsel kujul $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ -na, mis ei oksüdeeru kuigi hästi.

CO_2 sisalduse vähenedes suureneb dissotsieerunud raua osatähtsus, mis oksüdeerub ja eraldub seejärel veest kergemini. Järelikult on vaja CO_2 veest kõrvaldada. Lisaks aereerimisele võib CO_2 eemaldamiseks kasutada ka vee lupjamist, mille tagajärjel CO_2 seotakse lahustumatuks CaCO_3 -ks vastavalt võrrandile 2.2.5. (Karu 2016).



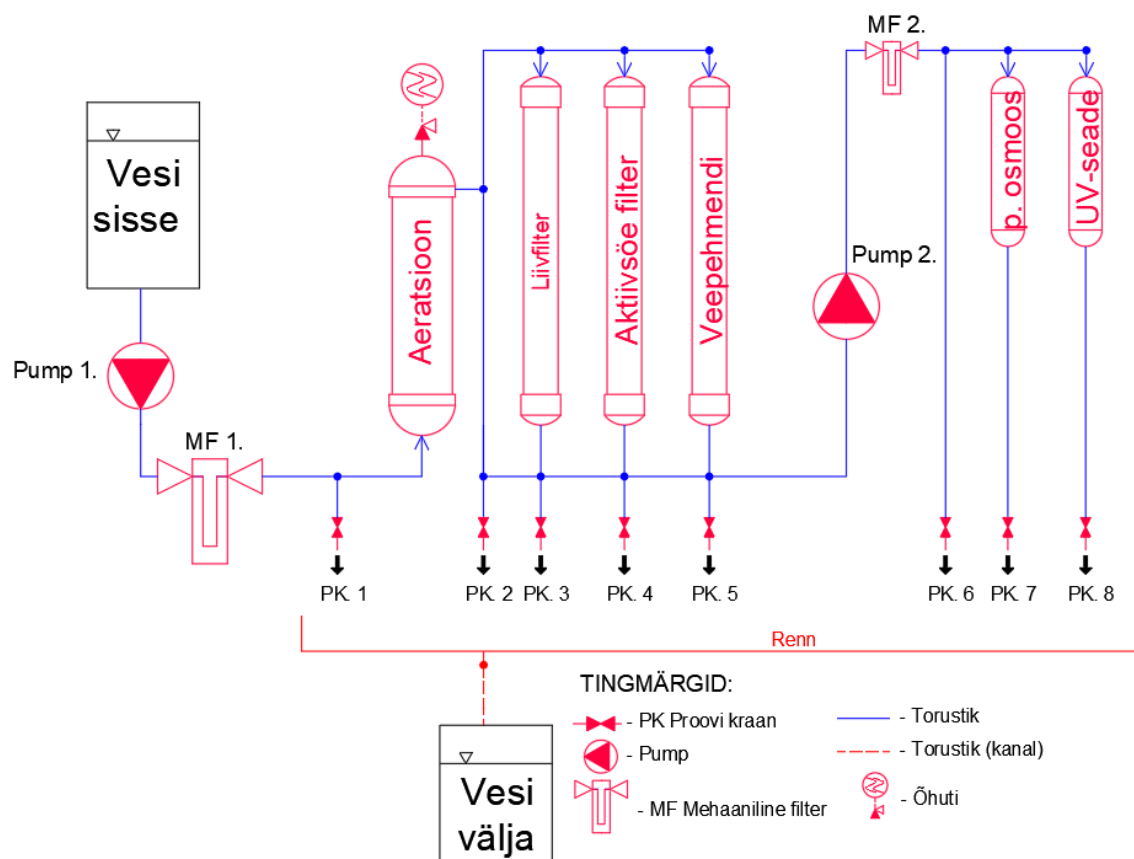
Joogivesi ja tarbevesi

Eesti joogivee kvaliteet on heal tasemel, viimane registreeritud veevõrgu kaudu levinud haiguspuhang jääb aastasse 1996 (Terviseamet 2018). Kõikidest ühisveevärgi tarbijatest 98 % kasutas 2015. aastal mikrobioloogiliste, keemiliste ja indikaatornäitajate järgi kvaliteedinõuetele vastavat joogivett. Vee-ettevõtete ülesandeks on tagada joogivesi vastavalt kehtivale määrusele (RT I, 27.09.2017,2). Lisaks joogiveele vajame ka vett teistsuguse kvaliteediga tootmises, küttesüsteemides, meditsiinis, toiduainetööstuses ja teistes valdkondades. Küttesüsteemides on peamiseks probleemiks kareda vee soojendamisel tekkiva katlakiviga, meditsiinis ja toiduainetööstuses kasutatakse steriliseeritud vett. Tarbijad kes vajavad teistsuguste kvaliteedinäitajatega vett, kui ühisveevärgist saadav joogivesi, peavad tagama vee töötlust omaveevärgis.

3. ÕPPESTEND

3.1. Üldine kirjeldus

Käesolevas töös käsitletav õppestend (joonis 3) on edasiarendus 2017. aastal Libek (2017) poolt välja töötatud stendist. Stendi eesmärk on demonstreerida meetodeid joogivee omaduste muutmiseks või vee puhastamiseks. Stendile on paigaldatud kaks mehaanilist ja kolm mahtfiltrit, rõhkaeraator, pöördosmoosseade, UV-seade ning nende käitamiseks vajalik toruarmatuur ja tarvikud. Stend on ehitatud roostevabast terasest raamile ning on hõlpsasti transpordiasendisse seadistatav. Skeemi tagumisse otsa ehitati lisafiltri või -seadme ühendamise võimalus, et tulevikus oleks võimalik õppestendi laiendada (lisa 2). Veeköögi tehnoloogiline skeem on joonisel 3. Veeköögi eest- ja tagantvaade joonisel 4 ja joonisel 5.



Joonis 3. Veeköögi põhimõtteline skeem (Libek 2017 järgi)



Joonis 4. Veetöötlusstendi eestvaade



Joonis 5. Veetöötlustendi tagantvaade ehk tehnoloogiline pool. 1 – aeraator; 2 – liivafilter; 3 – aktiivsõe filter; 4 – veepemendi; 5 – mehaaniline filter; 6 – pöördosmoosseade; 7 – UV-seade; 8 – mahuti; 9 – kompressor

Stend on ehitatud põhimõttel, et oleks võimalus kasutada veepuhastusseadmeid üksikult, jadamisi, rööbiti ja kombineerida tehnoloogiliste paaridena (näiteks aeratsioon ja liivafilter või mehaaniline filter ja pöördosmoosseade). Erinevatest puhastusprotsessidest läbi lastud vett on võimalik väljavoolukollektoris segada omavahel ning ka toorveega. Süsteemil on manomeetrid kõigi puhastusseadmete sisse- ja väljavoolul, et jälgida rõhulangu filtrides.

Vooluhulga jälgimiseks on paigaldatud enne igati puhastusseadet rotameeter ning selle reguleerimiseks reguleeriventiil. Stendi on võimalik veevõrgu või mahutitega toodava vee toitel. Stendi käitamiseks piisab veevõrgu survest (2,5 – 5 bar), vaid pöördosmooseseadme toitmiseks on vaja rõhutõstepumpa. Mahutitoitel töötamiseks on omaette pump. Äravooluvett saab lasta otse ühiskanalisatsiooni, või kui see võimalik ei ole, siis on võimalik lasta vesi kanistrisse (Libek 2017).

3.2. Veetöötlusseadmed stendil

Vee töötlemiseks ja puhastamiseks on õppestendile monteeritud kaheksa puhastusseadet: mehaanilised filtrid (100 µm ja 5 µm), õhustusseade, liivafilter, aktiivsöe filter, pehmendusseade (ioonvahetusfilter), pöördosmooseseade ja UV-seade.

Mehaaniline filter

Mehaanilise filtri eesmärk on eemaldada veest võõrised ja muud tahked osakesed, mis võivad põhjustada süsteemi ummistumist ja seadmete amortiseerumise. Õppestendile on paigaldatud kaks mehaanilist filtrit, mõlema töö rõhk on 0,5 – 8,0 bar, vee temperatuur peab jääma vahemikku +4° kuni +45°, ning maksimaalseks tootlikkuseks on 800 l/h. MF.1 filtrielemendiks on pestav võrkfilter, mille avasuuruseks on 100 µm. MF.2 filtrielemendiks on kangas filter, avasuurusega 5 µm.



Joonis 6. Veeköögi mehaanilised filtrid MF.1 ja MF.2

Joonisel 6 nähtav mehaaniline filter MF.1 on paigaldatud süsteemis veearvesti ette. MF.1 on veepuhastusahela esimene lüli, ning selle läbib kogu süsteemi lastav vesi.

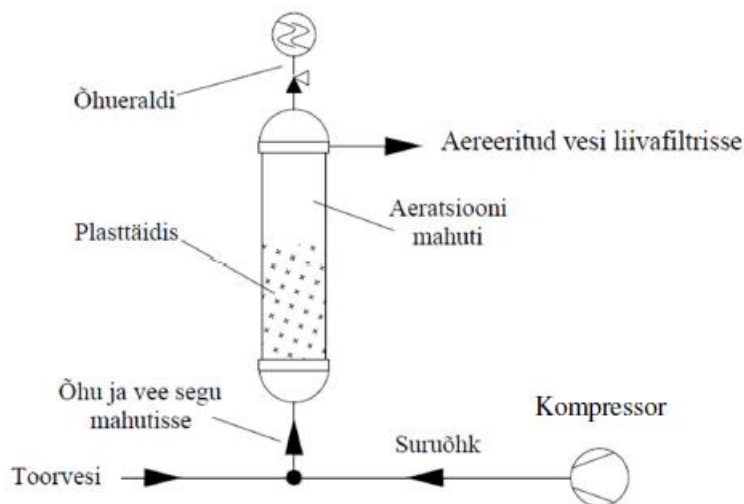
Mehaaniline filter MF.2 on paigaldatud pöördosmoosseadme ette, et kaitsta seda ummistumise eest ja pikendada seadme tööiga. Õppestendi normaalseks tööks tuleb aeg-ajalt MF.1 filterkeha jooksva vee all puhastada ning MF.2 filterkeha välja vahetada.

Aeratsiooniseade

Aeratsiooniseadme peamine ülesanne on vee rikastamine hapnikuga vees lahustunud kahevalentse raua ja mangaani oksüdeerimiseks ning ühtlasi vee degaseerimiseks, süsihappegaasi sisalduse vähendamiseks ning väävelvesinikust tingitud lõhna- ja maitseomaduste parandamine. Aeraatori töö efektiivsust mõjutab kõige enam õhu ja vee

kokkupuutepind. Võimalikult hea massiülekanne saavutamiseks on vaja vees tekitada võimalikult suur turbulents, et vesi ja õhk oma vahel intensiivselt seguneks, võimalikult palju hapnikku vette lahustuks ning vees olevad gaasid lenduks. (Droste 1997)

Joonis 7 kirjeldab stendi jaoks konstrueeritud rõhk-aeraatorit, kus suruõhk juhitakse vette vahetult enne kolonni. Suruõhk saadakse õlivaba kompressoriga Stanley DN 200/10/5 ning õhuhulka reguleeritakse stendil asetsevast õhurotameetri reguleeriventilist. Paremaks õhu ja vee segunemiseks on kolonni pandud plasttäidis, mis tõusvaid õhumulle lõhub ning turbulentsi tekitab. Õhk eraldatakse läbi mahuti tipus paikneva õhueraldi. Aereeritud vesi juhitakse välja mahuti ülemise osa küljelt jättes mahuti ülaossa õhupadja, et vesi ei haaraks kaasa õhku (Libek 2017).



Joonis 7. Stendi jaoks konstrueeritud rõhk-aeraatori skeem (Libek 2017)

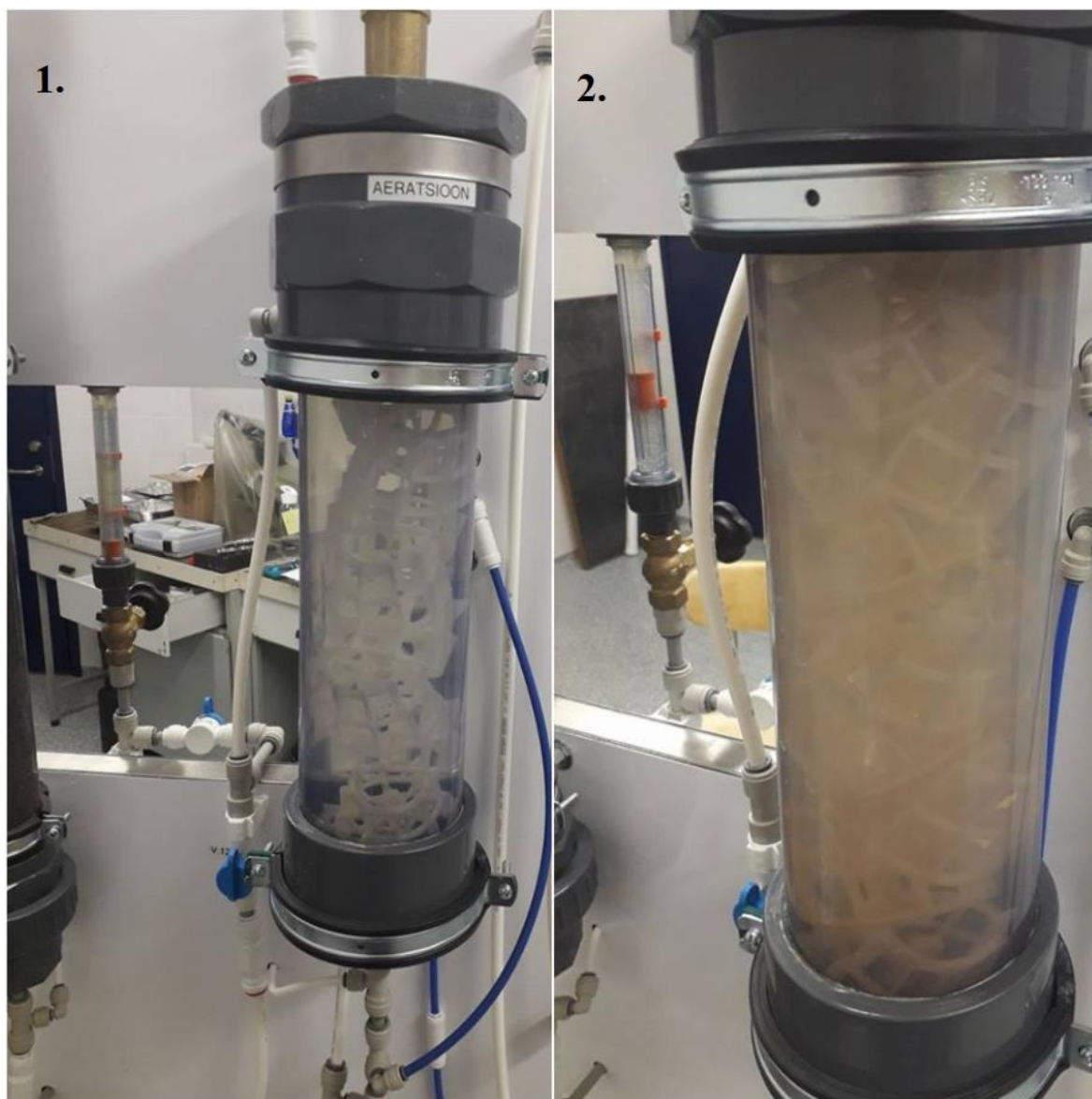
Seadme parameetrite määramisel on arvestatud õppestendi mõõtmetega ja tootlikkusega. Aeratsiooniseadme parameetrid on toodud tabelis 5.

Tabel 5. Aeratsiooniseadme parameetrid

Nimetus	Ühik	Väärtus
Mahuti kõrgus	mm	400
Mahuti läbimõõt	mm	110
Õhu tootlikus	l/h	25
Õhurotameetri skaala	l/min	0 – 10

Selleks, et vee aereerimist demonstreerida ja jälgida, on kolonn valmistatud läbipaistvast PVC-U torust.

Joonisel 8 on näha kuidas peale 400 liitri rauarikka vee (rauasisaldus 4,6 mg/l) aereerimist on tekkinud rauarikas sade mahuti seintele ja filterkeha pinnale. Aeratsioonikolonn on hõlpsasti avatav ja puhastatav.



Joonis 8. 1 – Aeratsiooniseade uuena, 2 – Sama seade pärast töötüklit 400 l rauarikka veega

Teralised filtrid

Teralised filtrid on liivafilter ja aktiivsöe filter ning teralist täidist sisaldab ka veepehmendi (joonis 9). Osakeste filtreerumist filtermaterjalis põhjustavad põhiliselt füüsilised jõud (segunemine ja sidumine) ja adsorptsioon (Van der Waals'i jõud). Teralisi filtreid kasutatakse vee selitamiseks, raua- ja mangaaniärastamiseks, värvuse eemaldamiseks ja veepehmemendamiseks.



Joonis 9. Õppestendi teralised filtrid: 1 – liivafilter, 2 – aktiivsöefilter, 3 – veepehmendi

Teralised filtermatjalid on filterpadjana kolonnides, kus vesi läbib materjali liikudes suunaga ülevalt alla. Filtermaterjalide parameetrid on toodud tabelis 6. Kõigi kolonnide maht on 1,35 l.

Tabel 6. Teraliste filtermaterjalide parameetrid (Libek 2017)

Veetöötlus-seade	Filtermaterjal i tüüp	Filtermaterjali tootja ja mark	Parameeter		Terasuurus (mm)	Filterpadja min. kõrgus (h _{min})
			nimetus	väärtus		
Liivafilter	Kvartsi	Kremer Zanden Grind - Kuivatatud ja sõelatud liiv	Terasuurus	0,7-1,25 mm	0,7 – 1,25	10 d
Aktiivsöe filter	Aktiivsüsi kookospähkli koorest	Desotec - ORGANO- SORB® 9-CO	Joodi- arv	900 mg/g	0,6 – 2,36	10 d
Veepehmendi	Kationiit Na ⁺	Purolite® - C100E	Ioon- vahetus võime	1,9 ekv/l	0,3 – 1,2	600 mm

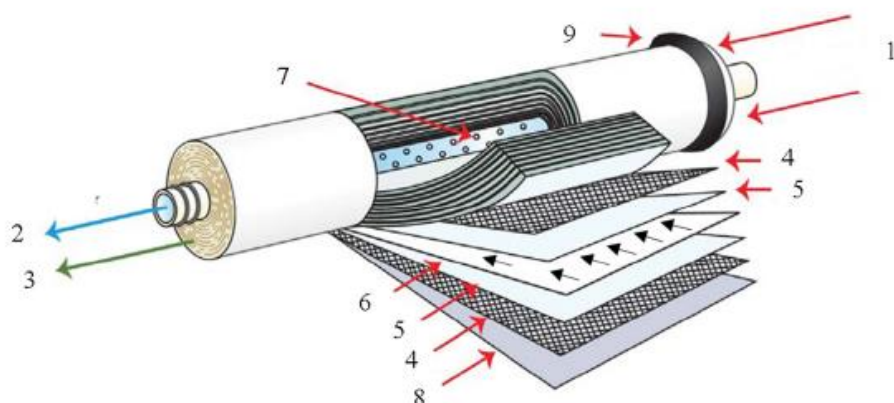
Teralised filtrid on teadlikult tehtud ühesugused, kuna tegemist on peamiselt õppeeesmärgil/laboratoorses tingimustes kasutatava õppesendiga. Arvestatud on kolme filtermaterjali (liiva, aktiivsöe ja kationiidi) minimaalsete mõõtudega, mis tagavad filtri töö. Määravaks sai liivafiltri minimaalne siseläbimõõt (d 50 mm) ja kationiidi tootjapoolne soovitus – minimaalne filterpadja kõrgus (h 600 mm). Filtrite diameetri arvutamisel tuleb kontrollida, et filtermaterjalis ei tekiks otsevoolu ehk kanaliseerimist ja seinäefekti (vee voolamine pindpinevuse toimel mööda mahuti siseseina). Vältimaks sellise soovimatu efekti tekkimist peab mahuti diameeter (d) olema suurem, kui $d_{tera,eff}$ ($d_{tera,eff}$ - filtermaterjali efektiivne terasuurus) (Baquero & Bruggen 2008).

Ükski teralistest filtritest ei ole stendis läbipestav ega regenereeritav. See on teadlik valik selleks, et stend ei läheks liiga kohmakaks ega halvasti transporditavaks. Läbipesu ja regenereerimist on võimalik teha eraldi, kuid see ei olnud käesoleva uurimistöö teema.

Pöördosmoosseade

Pöördosmoos (PO) on membraantehnoloogia valdkonda kuuluv füüsikaline protsess. Tegemist on loodusliku osmoosi pöördprotsessiga, kus hüdrostaatilisest rõhku avaldatakse kõrgema kontsentratsiooniga lahusele, mille tulemusena lahusti liigub madalama kontsentratsiooniga lahusesse, kuid reoained jääb membraani taha. Membraani avasuurus on väga väike – 0,0001 µm. PO seadme töö tulemusena saadakse soola- ja mikroobivaba vesi (permeaat) ning järel jääb kontsentraat. PO eeliseks on membraani suhteliselt pikk

eluiga ning laias pH vahemikus (pH 2 – 7) kulgev kemikaalivaba puhastusprotsess. Spiraalse pöördosmoosseadme skeem on joonisel 10.



Joonis 10. Spiraalse pöördosmoosmooduli skeem: 1 – toorvee sissevool, 2 – permeaadi äravool, 3 – kontsentraadi äravool, 4 – vahekiht, 5 – poolläbilaskev membraan, 6 – permeaadi kogumiskollektor, 7 – perforeeritud toru, 8 – kate, 9 – tihend (Grozine 2014)

Toorvesi pääseb pöördosmoospadrunisse läbi korpuse kaanes olevast 1/4" ühenduse ning permeaat ja kontsentraat voolavad ära läbi korpuse teises otsas olevate 1/4" ühenduste. Spiraalmembraanmoodul BW60-1812-75 valiti tootjalt Dow Filmtec. Membraani vooluhulk 3,4 bar'i juures on 12 l/h ning seade võimaldab kinni püüda 99 % sooladest. (Libek 2017) Spiraalmembraanmooduli spetsifikatsioon on lisas 12.

Ultraviolettseade

Ultraviolettkiired lainepikkusega 205 – 315 nm (205 nm = 0,205 µm) toimivad bakteritele surmavalt. Seetõttu nimetatakse seda lainepikkuse ala bakteritsiidseks. Toime on tõhusaim lainepikkusel ~260 nm.

Seadme plussid:

- kompaktne;
- ei vaja reagente;
- desinfitseerib momentaanselt, seetõttu puudub vajadus kontaktmahuti järele;
- ei muuda vee lõhna ega maitset;
- lihtne ja kiire käivitamine;
- töö juhtimine hästi automatiseeritav.

Seadme miinused:

- puudub järelmõju desinfitseeritud veele;
- raske kontrollida desinfitseerimise tegelikku tõhusust;
- lahustumata lisandite olemasolu vees (hägusus, värvus) vähendab oluliselt seadme efektiivsust. (Karu 2016)

Stendi UV-seade töötab lainepikkusel 253,7 nm ning ega (Q_{ef}) on 120 l/h. UV-seade on valitud tootjalt Aqua filter. Spetsifikatsioon on toodu lisas 17.

3.3. Tarvikud ja toruarmatuur

Pumbad

Õppestendil on kaks Aquafilter membraanpumpa. Joonisel 11 kujutatud PUMP.1 on vajalik kogu süsteemi varustamiseks veega. PUMP.2 on rõhutõstepump, mida on tarvis pöördosmoosseadme käitamiseks. Rõhutõstepumba ja pöördosmoosseadme vahele on paigaldatud 10-liitrine paisupaak, et ühtlustada rõhku süsteemis. Mõlema pumba nimivooluhulk on 1,5 l/min, maksimum töö rõhk 5,5 bar. Pumpade toide 1,2 A 24 V ja see saadakse stendi jaotuskilbist. Pumpade spetsifikatsioon on lisas 13.



Joonis 11. Pumbad

Kompressor

Rõhk-aeraatorile õhuhapniku andmiseks kasutatakse õlivaba kompressorit Stanley DN 200/10/5 Airboss. Kompressori parameetrid on toodud tabelis 14.

Tabel 7. Kompressor Stanley DN 200/10/5 parameetrid

Näitaja	Ühik	Väärtus
Võimsus	kW	1,1
Mahuti	l	5
Jõudlus	l/min	180
Toide	V	230
Pöörete arv	p/min	3400
Maksimaalne rõhk	bar	10
Kaal	kg	9

Kompressoril on kaks näidikut. Rõhunäidik näitab rõhku kompressori mahutis. Reguleeritud rõhu näidik näitab rõhku, mis on regulaatori seadistuse järgi lubatud tühjendusvoolikusse lasta. Kompressori kasutusjuhend on lisas 14.

Veearvesti

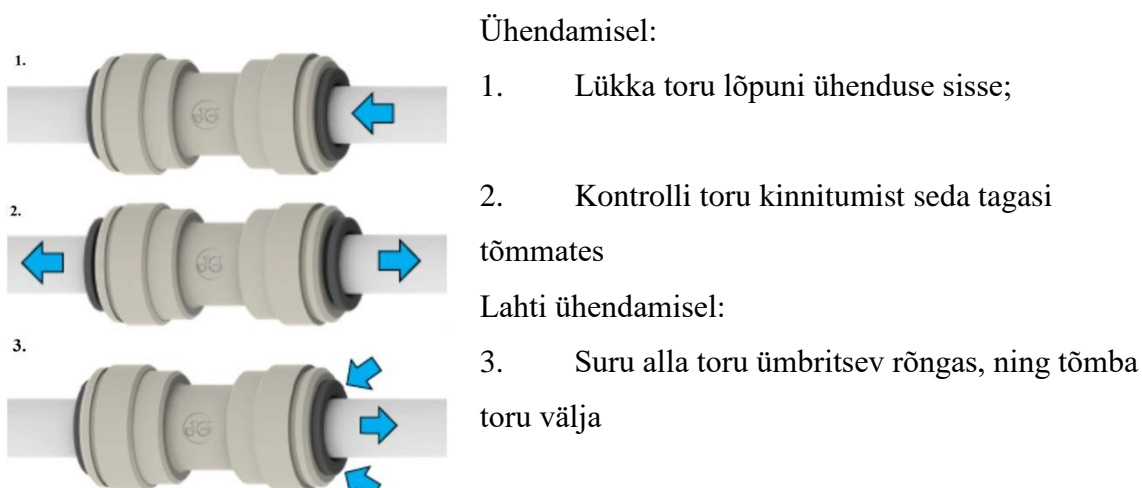
Vee hulga jälgimiseks on õppevendile paigaldatud, Wehrle, silindriline kolb-veearvesti. Kuna õppevendide normvooluhulk on tavapärasest kasutusest väiksemad, on oluline, et veearvestil on madal tundlikkuse lävi. Veearvesti nimivooluhulk (Q) vahemikus 2,5 – 4 m³/h. Veearvesti spetsifikatsioon on lisas 15. Veearvesti peale on paigaldatud kaugloetav andur tootjalt NAS (Nordic Automation Systems). Tegemist on *retrofit* anduriga, mis sobib olemasoleva mehaanilise veearvesti peale. Vee-ettevõtjad pooldavad sellist lahendust, kuna see andur edastab automaatselt veenäidu ja tarbijatel ei ole enam veenäitude teatamine vajalik. NAS Water meter sensor CM3000 edastab andmed LoRaWan võrku. Andur töötab aku toitel, mille eluiga on kuni kümme aastat. Andur suudab luua kommunikatsiooni vastuvõtjaga raadiuses kuni 15 kilomeetrit. NAS kaugloetava anduri spetsifikatsioon on lisas 16.

Jaotuskilp

Seadmed (pumbad, kompressor, UV-seade) saavad on toite jaotuskilbist. Jaotuskilbi koosseisu kuulub: viiemeetrine toitekaabel, peakaitse 6A, rikkevoolukaitse (1-faasiline, 10 A) ja neli kaitselüliti (6 A). Jaotuskilp on ehitatud põhimõttel, et oleks võimalik seadmeid sisse ja välja lülitada sõltumatult, st igale seadmele on eraldi kaitselüliti. Jaotuskilp on maandatud raamile.

Fitingud

Torustiku on dimensioneeritud vastavalt nimivooluhulgale ($Q_{\text{norm}} = 25 \text{ l/h}$), baasmõõduks on 3/8". Selline mõõt tagab süsteemi normaalse vee voolamise, ilma suuremate rõhukadudeta ning jätab ka piisava varu. Fitinguteks on kasutatud tootjalt John Guest®, kuna nad kuuluvad PN10 rõhuklassi, nende mõõtmed on väiksed ja John Guest® kasutab *Speedfit*-lahendust. *Speedfit* ehk kiirühendus lahendus lihtsustab märgatavalt õppestendi hooldust ja remonttöid. Joonisel 12 kirjeldatakse kuidas teostada fittingute ühendamist ja lahti ühendamist.



Joonis 12. John Guest®-i fittingute ühendamine ja lahti ühendamine (John Guest 2017)

Fitingute lahti ühendamisel tuleb alati veenduda, et süsteem ei oleks surve all. Lahti ühendamisel on lihtsaim võimalus toru ümbritsev rõngas alla suruda lehtvõtme nr 10 abil.

Kokku kulus õppestendi ehitamiseks 227 John Guest®-i fittingut (käsiventiilid, üleminekud, tagasilöögiklapid, kolmikud, nelikud, põlved) ning 45 meetrit toru (mõõdus 3/8" 30 m ja mõõdus 1/4" 15 m). Täpsema ülevaate materjalikulust annab lisa 11.

Enne igat seadet on torustikule paigaldatud reguleeriventiil ja rotameeter, et oleks võimalik seadistada ja jälgida seadmest läbi lastavat vooluhulka. Rotameetrid on valitud vastavalt seadmetele vahemikus 2,5 – 25 kuni 15 – 150 l/h, arvestatud on et rotameerit ujuk jääks normaal vooluhulga korral skaala keskpaika.

4. ÕPPESTENDI KATSETAMINE

4.1. Eesmärk

Töö eesmärk on katseliselt leida õppestendi mahtfiltrite puhastusvõime ja töötsükkel, ehk vee hulk mille läbimise korral täitematerjal ammendub, ning koostada stendi kohta kasutusjuhend. Kontrollida stendi sobivust kasutamiseks õppevahendina.

4.2. Materjal ja metoodika

4.2.1. Katsekorraldus

Töö katseseadmega jagunes kahte etappi. Esimese etapi käigus komplekteeriti 2018 aasta alguses OÜ Miridon tööruumides stend ajutiselt raamilt püsiraamile. Teine etapp toimus Eesti Maaülikooli Maaehituse ja veemajanduse õppetooli veelaboris, kus viidi läbi katsed. Stendi katsetamiseks õppevahendina demonstreeriti seda 2018. a. kolm korda messidel ja teadusfestivalil. Eesti Maaülikooli ruumides viidi 2018.a läbi ka õpituba koolinoortele „Mis on vee sees?“.

Vesi

Veepehmendi töötsükli katsetamisel kasutati AS Tartu Veevärgi vett ja AS Emajõe Veevärgi Konguta veehaarde toorvett:

- VESI A: AS Tartu Veevärgi ühisveevärgi vesi, väga kare, rauavaene;
- VESI B: AS Emajõe Veevärgi Konguta küla puurkaevesi, töötlemata, rauarikas.

VETT A kasutati vee pehmemdamisel kationiidi ionvahetusvõime hindamiseks ja VETT B kasutati rauaärastuses nii liiva- kui ka aktiivsöe filtri töö uurimisel.

Liiva- ja aktiivsöe katsetamiseks Tartu ühisveevärgi vesi ei sobinud, kuna selle rauasisaldus jääb vahemikku 0,02 – 0,17 mg/ (Tartu veevärk 2018). Rauaärastuskolonne jaoks toodi toorvett kanistritega (VESI B). Töö käigus uuriti ka veetöötlusseadmete koosmõju, nt: rõhk-aeraatori ja liivafiltri ning liivafiltri ja aktiivsöefiltri puhastusvõimet jadamisi ühendusel.

Veepehmenduseseade

Veepehmenduskolonne täitematerjalina kasutati Purolite C100E ionvahetusvaiku ionvahetusvõimega 1,9 ekv/l. Kationiidi tööparameetrid on toodud tabelis 8. Vee karedust määrati Kennet Water-i karedustesti abil (peatükk 4.2.1).

Tabel 8. Veepehmendi tehnilised näitajad

Täitematerjal		
Nimetus	Ühik	Väärtus
Tootja		Purolite®
Nimi		C100E
Ioonsus		Na ⁺
Ionvahetusvõime	ekv/l	1,9
Terasuurus	mm	0,3-1,2
Tihedus	g/cm ³	0,84
Täite mass	kg	1,13
Mahuti		
Materjal		PVC-U PN16 De63
Siseläbimõõt	mm	53,6
Ristlõike pindala	cm ²	22,56
Kasulik kõrgus	mm	600
Maht	l	1,35
Tootlikus		
Vooluhulk	l/h	41,5
Hüdrauliline koormus	Bv/h	30,7
Voolu kiirus	m/h	18,4
Viibeaeg	min	2

Katse eesmärgiks on katseliselt demonstreerida kationiidi ionvahetusvõime sõltuvust vooluhulgast. Veepehmendi töötssükli katset tehti kaks korda (töötssükli arvutamine vastavalt valemile 4.2.). Esimesel katse uuriti täitematerjali töövõimet arvutuslik maksimaalse hüdraulilise koormuse korral (30,7 Bv/h) ning vooluhulga (Q) 41,5 l/h juures.

Hüdrauliline koormus (*bed volume per hour*, Bv/h) on ioonvahetit läbiva materjaliga võrdeline vee kogus tunnis, leitakse valemiga 4.2.1. Teises katses uuriti täitematerjali töövõimet õppestendi nimivooluhulga juures (Q_{norm}) 25 l/h. Katseseade ühendati ühisveevärgiga ning seadistati vastavalt lisas 9 toodud skeemile. Toorvee kareduse määramiseks võeti vesi proovivõtukraanist PK.1. Pehmendatud vee proov võeti proovivõtukraanist PK.5. Nii toorvee kui ka pehmendatud vee karedust määrati iga tunni tagant.

Veepehmenduskolonne hüdraulilise koormuse arvutamine:

$$HK = \frac{Q}{V} \quad (4.1.)$$

Kus,

HK – hüdrauliline koormus (Bv/h);

V – kolonne maht (l);

Q – vooluhulk (l/h).

Kationiidi töötsükli kestvuse arvutus:

$$V_{p.vesi\ 1} = \frac{(V \cdot C)}{L_1} \quad (4.2.)$$

Kus,

$V_{p.vesi}$ – pehme vee kogus (l);

V – kolonne maht (l);

C – kationiidi ioonvahetusvõimsus (ekv/l);

L – toorvee karedus (ekv/l)

Rauaärastusseade

Rauaärastusseade koosneb aeratsiooniseadmest ja filterelemendist. Rauaärastuse katsetamisel uuriti kahte filtermaterjali: kvartslüüa ja aktiivsütt. Katset viidi läbi kolmes kombinatsioonis, esimesel korral uuriti kvartslüüa, teisel korral aktiivsöe ja kolmandal korral kahe materjali koosmõju jadamise ühendusel. Täitematerjali parameetrid on toodud tabelis 9. VESI B algne rauasisaldus oli 4980 µg/l.

Tabel 9. Kvartslüiv ja aktiivsöe tehnilised parameetrid

Kvartslüiv		
Nimetus	Ühik	Nimetus, väärtus (vahemik)
Tootja		Kremer Zand en Grind
Nimi		Kuivatatud ja sõelutud liiv
Terasuurus	mm	0,7 – 1,25
Tihedus	g/cm ³	1,5
Täite kaal	kg	2,03
Vooluhulk	l/h	25 (18 – 34)
Voolu kiirus	m/h	11 (8 – 15)
Viibeaeg	min	3,3 (4,5 – 2,4)
Aktiivsüsi		
Tootja		Desotec
Nimi		ORGANOSORB® 9-CO
Joodiarv	mg/g	900
Terasuurus	mm	0,6-2,36
Tihedus	g/cm ³	0,55
Täite kaal	kg	0,74
Vooluhulk	l/h	25 (23 – 27)
Voolukiirus	m/h	11 (10 – 12)
Viibeaeg	min	3,3 (3,6 – 3,0)

Õppestend seadistati vastavalt skeemile lisas 7, vooluhulgaks reguleeriti 25 l/h. Liivafiltrit läbinud veest võeti veeproov iga tunni tagant. Rauaärastuse esimeseks etapiks on aereerimine. Arvutuslikult teoreetiline vajalik õhuhapniku hulk oli vähem kui üks liiter õhku minutis. Katse teostamise ajal oli selgelt näha, kuidas juba kanistrites muutus selge vesi kollakaspruuniks. Ehk siis võib eeldada, et kanistritesse pumpamisel toimus toorvee esialgne aereerimine, mis võimaldas kahevalentsel raual kolmevalentseks oksüdeerida.

Rauasisalduse määramist käsitleb peatükk 4.2.1. Aereerimiseks vajaliku õhuhulga leidmiseks on kasutatud Mazzei Injector LLC juhendit raua ja mangaani ärastamiseks aeratsioonil (Mazzei Injector 2011). Teoreetiline hapniku vajadus leiti valemi 4.3. järgi, teoreetiline õhuhulk vastavalt vooluhulgale (25 l/h) leiti valemi 4.4. järgi ja tegelik õhuhulk leiti valemiga 4.5.

Aereerimiseks vajaliku õhuhapniku arvutus vooluhulgale

$$O_{2,teor} = Xf \cdot (Fe) + Xm \cdot (Mn) + R \quad (4.3.)$$

kus $O_{2,teor}$ on teoreetiline hapniku vajadus mg/l;

Xf – raua reaktsiooni tegur;

(Fe) – raua kontsentratsioon mg/l;

Xm – mangaani reaktsiooni tegur;

(Mn) – mangaani kontsentratsioon mg/l

R – lõplik hapniku jääk – (5,0-esialgne hapnik) mg/l.

Õhu tihedus on 1,2047 g/l temperatuuril 20°C ja rõhul 1 atm. Nende tingimuste juures sisaldab õhk 20,95 % hapniku, seega liiter õhku ($1,2047 \times 0,2095 = 0,2524$ g/l) sisaldab 252,4 mg/l hapnikku (Mazzei Injector 2011).

$$\tilde{O}hk_{teor} = \frac{Q \cdot O_{2,teor}}{O_{2,\tilde{O}hk}} \quad (4.4.)$$

kus $\tilde{O}hk_{teor}$ on teoreetiline õhuhulk l/min;

Q – nimivooluhulk l/h

$O_{2,teor}$ – teoreetiline hapniku vajadus mg/l;

$O_{2,\tilde{O}hk}$ – hapniku sisaldus õhus.

Tegelik õhu vooluhulga leidmisel tuleb arvestada rõhk-araatori efektiivsust. Mazzei Injector Company LLC juhendis raua ja mangaani eraldamiseks aereerimisel (Mazzei Injector 2011) on välja toodud, et araatori efektiivsus sõltub araatori ehituses ja düüsist. Juhendis toodud, et araatorite efektiivsus jääb vahemikku 5...35%.

$$\tilde{O}hk_{tegelik} = \frac{\tilde{O}hk_{teor}}{\tilde{O}hk_{efektiivne}} \quad (4.5.)$$

kus $\tilde{O}hk_{tegelik}$ on tegelik aereerimiseks vajalik õhuhulk l/min;

$\tilde{O}hk_{teor}$ – teoreetiline õhuhulk l/min;

$\tilde{O}hk_{efektiivne}$ – rõhk-araatori efektiivsus %.

4.2.2. Analüüsimeetodid

Õppeendi veepuhastusvõime ja filtrite töötuski hindamiseks kasutati maaehituse ja veemajanduse õppetooli käsi- ja kiirtestereid. Mõõdeti karedust, pH-d, elektrijuhtivust, hägusust, rauasisaldust.

Kareduse määramine

Veekareduse määramiseks kasutati Kennet Water kareduse test-komplekti, mis põhineb tiitrimise meetodil. Testeri komplekti kuulub: viaal, kareduse indikaator KW-13 ja kareduse tiiter KW-14.

Kareduse määramine:

1. Täita viaal 20 ml analüüsitava veega.
2. Lisada 5 tilka indikaatorit KW-13 ning segunemiseks loksutada.
3. Lisada tiitervedeliku KW-14 ühe tilga kaupa, lugedes tilkade arvu.

On nõutav, et proov muutuks lillakaspunasest siniseks. Tiitervedeliku KW-14 lisamisel tuleb pudelit hoida vertikaalselt suu allapoole ning lasta tilkadel moodustuda aeglaselt ja kukkuda oma enda raskusel. Pudelit ei tohi raputada. Surve pudeli seintelt tuleb vabastada pärast iga tilga lisamist, et tagada ühesuurte tilkade tekkimine.

$$\text{KAREDUS} = \text{KW-14 tilkade arv} \times 10 \text{ ppm}$$

Antud meetodil saadakse tulemus ppm (inglise keeles *parts per million*), selle teisendamiseks mg-ekv/l tuleb saadud tulemus korrutada 0,02-ga.

Näide:

$$\text{KW-14 tilkade arv} = 45$$

$$\text{KAREDUS} = 45 \times 10 = 450 \text{ ppm}; 450 \times 0,02 = 9,0 \text{ mg-ekv/l}$$

Vee pH määramine

Töös kasutati pH määramiseks HM digitaalset PH-200 käsitesterit.

pH määramine kasutades PH-200 käsitesterit:

1. Eemaldage kork.
2. Vajutage nuppu „ON/OFF“, mille peale ekraan lülitub sisse.
3. Asetage tester vette.
4. Õrnalt loksutage testerit, et eemaldada õhumullid, mis võivad jääda klaasist elektroodile lõksu. Testerit vastu klaasi mitte koputada.
5. Tester annab näidu kohe. Täpse väärtuse saamiseks hoida tester vees kuni lugem stabiliseerub (umbes 30 sekundit). On normaalne, kui lugem täielikult ei stabiliseeru.

6. Lugemi salvestamiseks ekraanile vajutage „HOLD/MODE“ nuppu. Seejärel võite testeri veest välja võtta. Ekraani vabastamiseks vajutage taas „HOLD/MODE“ nuppu.
7. Testeri väljalülitamiseks vajutage nuppu „ON/OFF“.
8. Raputage testerilt liigne vesi ning loputage elektrood destilleeritud veega.
9. Pange kork uuesti peale.

pH testeri kasutusjuhend on lisas 18.

Elektrijuhtivuse mõõtmine

Töös kasutati HM digitaalset COM-100 käsitesterit. Tester mõõdab elektrijuhtivust (EC- electrical conductivity) vahemikus 0 – 9990 μS , (mikrosiimensit) lahustunud ainete sisaldust (TDS- *total dissolved solids*) vahemikus 0 – 8560 ppm ja temperatuuri vahemikus 0 – 80 °C.

Elektrijuhtivuse määramine kasutades COM-100 käsitesterit:

1. Eemaldage kork.
2. Vajutage nuppu „ON/OFF“ , mille peale ekraan lülitub sisse.
3. Tester lülitub sisse vaikimisi režiimis elektrijuhtivuse mõõtmiseks, arvestades KCl temperatuuriparandit. Temperatuuri ühikuks on Celsius. Töörežiimi muutmiseks vajutage ja hoidke all „HOLD/MODE“ nuppu, kuni soovitud režiim kuvatakse ekraanil (antud töös kasutatakse elektrijuhtivuse määramiseks μS).
4. Vabastage „HOLD/MODE“ nupp, kui soovitud režiim kuvatakse ekraanil.
5. Asetage tester vette.
6. Õrnalt loksutage testerit, et eemaldada õhumullid, mis võivad testeri põhja lõksu jääda.
7. Tester annab kohe näidu. Täpse väärtuse saamiseks hoida tester vees kuni lugem stabiliseerub (umbes 30 sekundit). On normaalne kui lugem täielikult ei stabiliseeru.
8. Lugemi salvestamiseks ekraanile vajutage „HOLD/MODE“ nuppu. Seejärel võite testeri veest välja võtta. Ekraani vabastamiseks vajutage taas „HOLD/MODE“ nuppu.
10. Testeri väljalülitamiseks vajutage nuppu „ON/OFF“.

11. Raputage testerilt liigne vesi ning loputage elektrood destilleeritud veega.
12. Pange kork uuesti peale.

Elektrijuhtivuse mõõtmise testeri kasutusjuhend on toodud lisas 19.

Hägususe mõõtmine

Hägususe määramine kasutades Aqualytic turbimeter AL250T-IR testkomplekti:

1. Vajutage „ON/OFF“ nuppu.
2. Proovi testimiseks, loputage viaal testitava vedelikuga kolm korda läbi. Täitke viaal valge jooneni ning pange peale kork. Kuivatage viaali välispind. Veenduge, et viaal oleks puhas ja kuiv.
3. Asetage viaal mõõtetaskusse.
4. Asetage mõõtetasku kork proovi peale.
5. Vajutage mõõtmise alustamiseks nuppu „Read“.
6. Salvestage mõõtetulemus.

Rauasisalduse määramine

Rauasisalduse määramiseks kasutati Lovibond Comparator 2000+ testerit. Testi komplekti kuuluvad: komparaator, etalonketas, reagenti tabletid (Lovibond IRON 515371BT), proovinõu, uhmrinui (joonis 13).

Töö käik:

1. Pange üks reagenti tablett proovinõusse ja uhmerdage see pulbriks
2. Täitke proovinõu 10 ml jooneni ning loksutage.
3. Proov on saanud oma lõpliku värvuse, kui reagent on täielikult lahustunud
4. Asetage destilleeritud veega proov komparaatori vasakusse sahtlisse ja uuritav proov paremasse
5. Sisestage komparaatorisse etalonketas ning võrrelge proove omavahel



Joonis 13. 1. Lovibond komparaatori ja etalonketas; 2. Rauasisalduse määramiseks valmis pandud proovid

4.2.3. Stendi sobivuse hindamine õppematerjalina

Veetöötlusstendi kasutusele võtmiseks õppevahendina tuli välja selgitada:

1. millised on õpilastel teadmised veest ja millised on praktilised ülesanded vee kohta riiklikus õppekavas. Ülevaate saamiseks tutvuti Avita kirjastuse poolt koostatud õpikute ja töövihikutega;
2. milliste üritustega saab õpestendi siduda, seda esitleda ja reklaamida;
3. millised on ajutiste õppekohtade võimalused ühendada stend vee ja kanalisatsiooniga;
4. millised ettenägematud probleemid võivad tekkida;
5. koostada õppematerjal ja katsetada seda õpilaste/huviliste peal.

4.3. Tulemused ja arutelu

4.3.1. Vee pehmendamine

Veepehmendi töötsükli arvutamise valemi 4.2. järgi on määravaks näitajaks veekaredus, täitematerjaliioonvahetus võime ning kolonni maht. Vooluhulka seal aga ei arvestata. Hüdrauliline koormus vastavalt vooluhulgale arvutati valemi 4.2.1. järgi. Katsete käigus muutus veevärgi vee karedus 3,2 mg-ekv/l võrra. Töötsükli arvutuses arvutati vesi A karedust mõõtetulemuste keskmisega. Katse tulemused on esitatud tabelis 10.

Veepehmenduskolonni hüdraulilise koormus arvutati vastavalt vooluhulkadele valemi 4.1. järgi:

$$HK_1 = \frac{Q_1}{V} = \frac{41,5}{1,35} = 30,7 \text{ Bv/h} \quad (4.1.)$$

$$HK_2 = \frac{Q_2}{V} = \frac{24,6}{1,35} = 18,2 \text{ Bv/h} \quad (4.1.)$$

Kus,

HK – hüdrauliline koormus (Bv/h);

V – kolonni maht (l);

Q – vooluhulk (l/h).

Kationiidi töötsükli kestvuse arvutus vastavalt vee karedusele valemi 4.2. järgi:

$$V_{p.vesi\ 1} = \frac{(V \cdot C)}{L_1} = \frac{(1,35 \cdot 1,9)}{10,9} \cdot 1000 = 235 \text{ l} \quad (4.2.)$$

$$V_{p.vesi\ 2} = \frac{(V \cdot C)}{L_2} = \frac{(1,35 \cdot 1,9)}{9,8} \cdot 1000 = 262 \text{ l} \quad (4.2.)$$

Kus,

$V_{p.vesi}$ – pehme vee kogus (l);

V – kolonni maht (l);

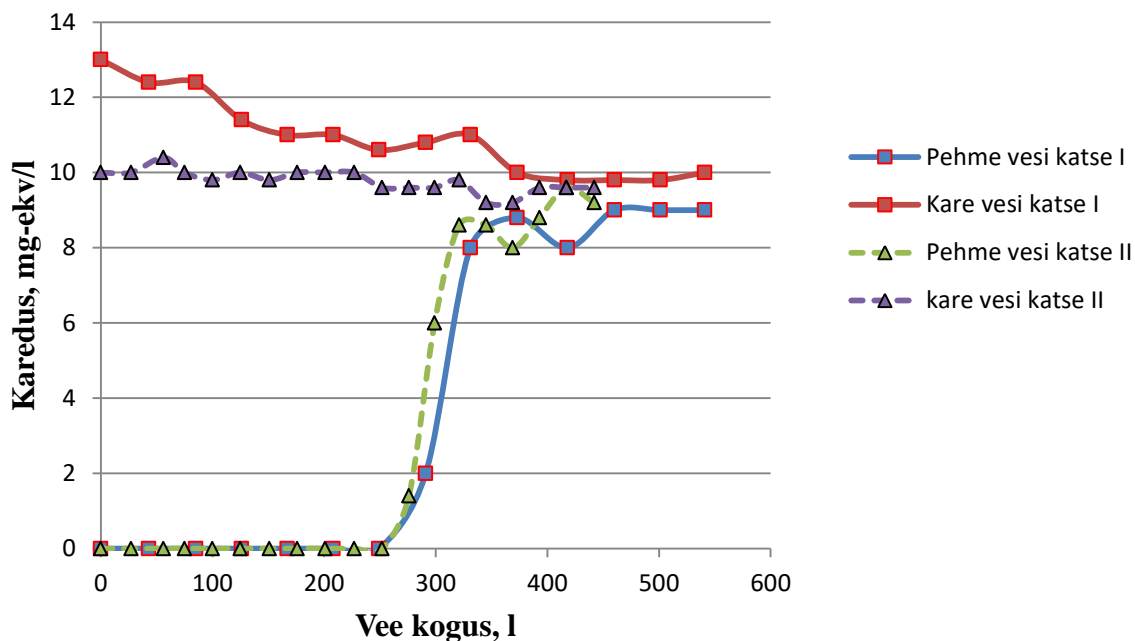
C – kationiidiioonvahetusvõimsus (ekv/l);

L – toorvee karedus (ekv/l)

Tabel 10. Veepehmendi töösükli katsete tulemused

Parameeter	Ühik	Katse I	Katse II
		väärtus	väärtus
Katse kestvus	h	13	18
Vee kogus kokku	l	540	442
Vooluhulk	l/h	41,5	24,6
Hüdrauliline koormus	Bv/h	30,7	18,2
Voolu kiirus	m/h	18,4	10,9
Viibeaeg	min	2	3,3
VEE A vee max karedus	mg-ekv/l	13	10,4
VEE A vee min karedus	mg-ekv/l	9,8	9,2
VEE A keskmine karedus	mg-ekv/l	10,9	9,8
Arvutuslik töösükkel	l	233	262
Katsetuslik töösükkel	l	249	252

Mõlema katse puhul suutis veepehmendi täitematerjal pehmendada VETT A täielikult 250 l, pärast seda suutis pehmendi veel osaliselt pehmendada 50 – 60 l. I katse puhul oli pärast 300 l veekaredus 2 mg-ekv/l kui II katsel sama vooluhulga juures oli veekaredus 6 mg-ekv/l. Mõlema katse puhul võib öelda, et kationiit oli pärast 320 l vee läbi laskmist täielikult ammendunud ning proovivõtmise tulemused enne ja pärast veepehmentit olid praktiliselt samad. Joonis 14 kirjeldab mõlema katse tulemusi.

**Joonis 14.** Veekaredus veepehmendi katsetamisel

Katse tulemuse põhjal on näha, et kationiidi ioonivahetus toimus sama efektiivselt nii vooluhulgal 41,5 l/h, kui ka 24,6 l/h korral. Kuigi esimese katse käigus kasutati suuremat vooluhulka ning vee A karedus oli keskmiselt 1,1 mg-ekv/l võrra kõrgem, olid esimese katse tulemused paremad. Kuna veekaredust määrati iga tunni tagant, ei olnud võimalik katseliselt paika panna liitri täpsusega töötsükli. Esimese katse viimane mõõtmine, kui veekaredus testi väärtus oli veel null, toimus siis kui veepehmendist oli läbi lastud 249 liitrit vett. Ühe tunni pärast kui veepehmendist oli läbi lastud 291 liitrit vett oli veekaredus juba 2,0 mg-ekv/l. Esimese katse arvutuslik töötsükkel oli 233 liitrit, see tähendab, et katseliselt leitud töötsükkel oli kindlasti suurem, kuid liitri täpsusega seda tulemuste põhjal kinnitada ei saa. Teisel katsel, kui toimus kareduse määramine, mille väärtuseks saadi null oli filtrist läbi lastud 252 liitrit vett. Tunni aja pärast kui filtrist oli läbi lastud 276 liitrit ning veekareduseks saadi 1,4 mg-ekv/l. Täpne töötsükkel jääb nende kahe mõõtmis tulemuste vahele. Arvutuslikult oli teise katse töötsükkel 262 liitrit. Joonisel 10 on näha, et kui kationiit hakkab ammenduma kui läbi on lastud 250 liitrit ja seda ületava paarikümne liitriga ammendub täitematerjal täielikult. Täitematerjali ammendumisel tuleb see välja vahetada või regenerereerida soollahuses.

4.3.2. Rauaärastus

Aereerimiseks vajalik õhuhulk leiti lähtudes Mazzei Injector juhendist.

Aereerimiseks vajaliku õhuhapniku arvutus vooluhulgale 25 l/h valemi 4.3. järgi.

$$O_{2,teor} = Xf \cdot (Fe) + Xm \cdot (Mn) + R = 0,1432 \cdot 4,98 \cdot 0,2912 \cdot 0,063 + 5$$

$$= 5,73 \text{ mg/l}$$
(4.3.)

kus $O_{2,teor}$ on teoreetiline hapniku vajadus mg/l;

Xf – raua reaktsiooni tegur;

(Fe) – raua kontsentratsioon mg/l;

Xm – mangaani reaktsiooni tegur;

(Mn) – mangaani kontsentratsioon mg/l

R – lõplik hapniku jääk – (5,0-esialgne hapnik) mg/l.

Teoreetilise õhuhulga leidmine valemi 4.4. järgi:

$$\tilde{O}hk_{teor} = \frac{Q \cdot O_{2,teor}}{O_{2,\tilde{O}hk}} = \frac{25 \text{ l/h} \cdot 5,73 \text{ mg/l}}{252,4 \text{ mg/l}} = 0,568 \frac{\text{l}}{\text{h}} = 0,009 \text{ l/min} \quad (4.4.)$$

kus $\tilde{O}hk_{teor}$ on teoreetiline õhuhulk l/min;

Q – nimivooluhulk l/h

$O_{2,teor}$ – teoreetiline hapniku vajadus mg/l;

$O_{2,\tilde{O}hk}$ – hapniku sisaldus õhus.

Kuna rõhk-aeraatori efektiivsust ei ole teada, arvutatakse vajalik õhuhulk 5 %-lise efektiivsuse juures valemi 4.5. järgi:

$$\tilde{O}hk_{tegelik} = \frac{\tilde{O}hk_{teor}}{\tilde{O}hk_{efektiivne}} = \frac{0,009}{0,05} = 0,18 \text{ l/min} \quad (4.5.)$$

kus $\tilde{O}hk_{tegelik}$ on tegelik aereerimiseks vajalik õhuhulk l/min;

$\tilde{O}hk_{teor}$ – teoreetiline õhuhulk l/min;

$\tilde{O}hk_{efektiivne}$ – rõhk-aeraatori efektiivsus %.

Arvutuste põhjal on õppestendi nimivooluhulga (25 l/h) juures vajalik õhuhulk 0,18 l/min. Karu (2016) pakub lahenduse korral, kus õhku pumbatakse pealevoolutorustikku, tuleb õhku pumbata ligikaudse arvestusega kaks liitrit õhku ühe grammi raua kohta. Selle ligikaudse arvestuse järgi on õhuhulk ligikaudu 1 l/min (toorvee rauasisaldus 0,498 g/l). Kuigi kahe õhuhulga vahe on ligi viiekordne, lähtub töö koostaja katse läbi viimisel just sellest arvestusest, kuna õppestendi õhurotameetrit ei ole võimalik reguleerida väiksemale õhuhulgale kui 1 l/min.

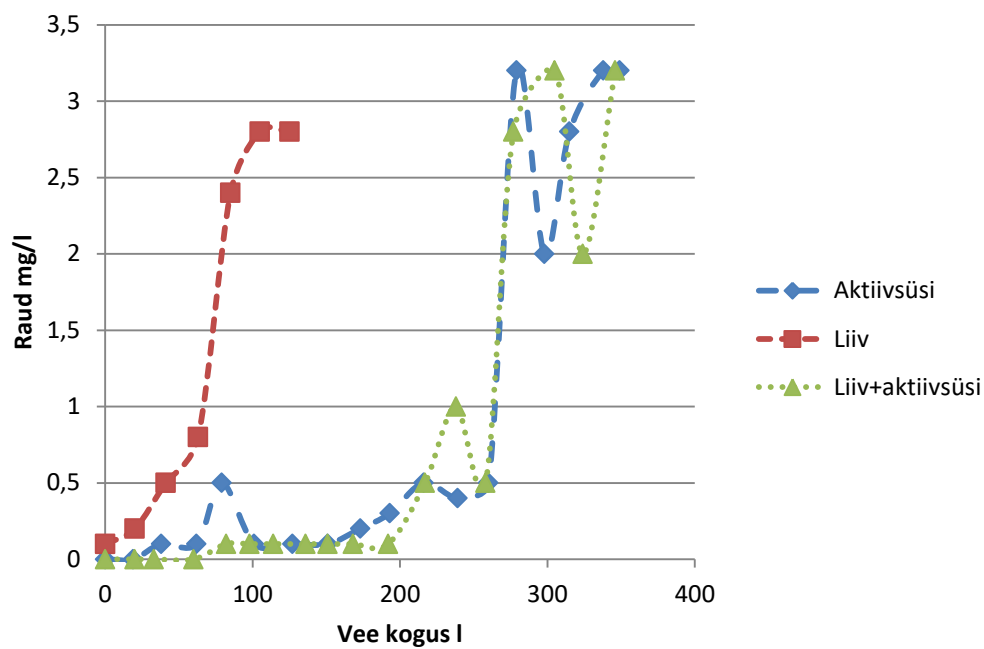
Liiva- ja aktiivsöe filtrite töösükli katsetamiselt määrati puhastatud vee rauasisaldus, hägusus, elektrijuhtivus ja pH. Vesi B määrati neid samu parameetreid katse alguse ja katse lõpus, kanistrites olnud rauarikas vesi võttis paari tunniga kollakapruuni värvuse, toorvee andmed on toodud tabelis 11. Emajõe veevärgist saadi (VESI B) veeanalüüs, analüüs on teostatud 03.08.2017 ning selle andmete järgi on Pihlaka puurkaevu toorvee rauasisaldus 4,98 mg/l kohta. Tulemuste võrdlemisel võeti aluseks Lovibond Comparator testeriga määratud rauasisalduse tulemused.

Tabel 11. VESI B omadused

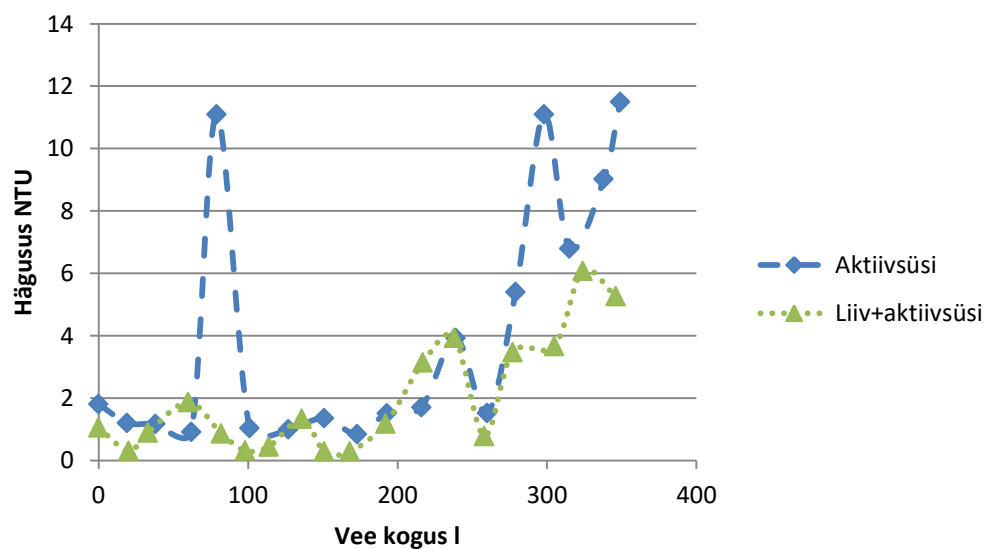
Andmed	ühik	Liiv		Aktiivsüsi		Liiv + aktiivsüsi	
		esialgne	6 h hiljem	esialgne	17 h hiljem	esialgne	17 h hiljem
Hägusus	NTU	15,7	52,8	29,8	54,8	16,0	52,2
Elektrijuhtivus	µs/cm	701	702	698	701	691	711
pH		7,93	7,53	7,91	7,92	7,89	7,9
Raud	mg/l	2,4	2,4	2,8	3,2	2,4	3,2

Toorvee hägususe ja rauasisalduse tõus on tingitud kahevalentse raua oksüdeerimisest kolmevalentseks rauaks. Raua määramisel jäeti proov 24 h seisma, et see saavutaks oma lõpliku värvuse. Üheks põhjuseks, miks toorvee rauasisaldus kanistris justkui suurenes, võib olla tingitud reagendi paremast reageerimisvõimest kolmevalentse rauaga. Määramisel kasutati etalonketast, mille suurim väärus on 1,0 mg/l kohta. Suurema rauasisaldusega proovid lahjendati, kui rauasisaldus ületas 2,0 mg/l kohta lahjendati proovi kaks korda, millest on tingitud ka suurem mõõteviga. Joonisel 15 on näha väga suurt rauasisalduse kõikumist kuna proovide lahjendamisel oli etalon ketta vähim mõõte vahemik 0,4 mg/l.

Liivafiltri katsetamisel suurenes rauasisaldus järk-järgult kiiresti ning pärast 85 liitri vee läbivoolamisel oli rauasisaldust võrdsustunud VESI B omaga, samuti muutus hägusus (15,7 NTU-ni). Edasi toimus filtris raua väljakandumine ning rauasisaldus suurenes 2,8 mg/l-ni. Liivafilter suutis 20 liitrit vett puhastada rahuldavalt ehk rauasisaldus jäi alla joogiveele esitatud piirsaldust 0,2 mg/l kohta. Aktiivsöefiltrist läbi lastud vees ületati rauasisalduse piirväärtus pärast 193 liitrit. Joonis 15 kirjeldab filtrite puhastusefektiivsust. Aktiivsüsi suudab eemaldada veest värvuse, lõhna ja raua, sest materjal on poorne ja kiud paiknevad ebaregulaarselt, tänu oma suurele eripinnale suudab materjal absorbeerida reoaineid. Aktiivsöe katse käigus tõrkus aeg-ajalt õhueraldi ning aeraatorist võttis vesi õhku süsteemi kaasa, sellest tingituna on ka aktiivsöe katse tulemustes näha 80 liitri peal suurt rauasisalduse ja hägususe tõusu, pärast mida edasine puhastusvõime taastus. Aktiivsüsi suutis toorvee värvust eemaldada paremini kui liivafilter, kui aktiivsöe filtrist oli läbi lastud 315 liitrit vett ja rauasisaldus oli 2,8 mg/l, jäi hägusus visuaalsel hindamisel rahuldavaks, hägusus 6,8 NTU. Liiva- ja aktiivsöefiltri koostööl ületas rauasisaldus piirväärtust pärast 217 liitrit, ehk vaid 24 liitrit rohkem kui aktiivsöefilter üksikult. Kahe filtri koostöö oli efektiivsem toorvee värvuse eemaldamisel. Hägusust kirjeldab joonis 16.



Joonis 15. Rauasisaldus mahtfiltrite katsetamisel



Joonis 16. Hägusus mahtfiltrite katsetamisel

4.3.3. Stend õppevahendina

Õppestendi demonstreeriti messidel ja teadusfestivalil:

- Haridusmess Intellektika 2018
- Ehitusmess Eesti ehitab 2018
- Õpilaste Teadusfestival 2018

Haridusmessi Intellektika ja Õpilaste Teadusfestivali peamine eesmärk oli reklaamida vesiehituse ja veekaitse eriala, kuna ürituste sihtgrupp oli gümnaasiumi abiturientid ja nooremad. Ehitusmessi peamiseks eesmärgiks oli tutvustada veetöötlus meetodeid, pöörata tähelepanu veega seotud probleemidele ja lahendustele. Ehitusmessi külastajateks olid suuremas osas ehitajad ja eramute omanikud, ning nende huvi oli pigem seotud omaveevärgivee puhastamiseks vajalike seadmetega. Ehitusmessil osaleti koos OÜ Miridon meeskonnaga, kes pakuvad puhastusseadmeid vastavalt tarbimise eripärale ja toorvee kvaliteedile.

Stendi ühendamiseks ühisveevärgiga on tarvis ühendustoru mõõdus 3/8“ ja äravoolutrapi olemasolu õppekohast paari meetri läheduses. Kuna sellised tingimused reeglina ajutistes õppekohtades puuduvad, tuleb käitada stendi kanistrite toitel ning kanaliseerimiseks kasutada kogumiskanistrit. Olukordades kus stendi kasutamine on pikem kui üks tund, nt messidel ja teadusfestivalide, on tarvis arvestada ligikaudse vooluhulgaga 30 liitrit toorvett tunnis. Stendi transpordiks ja töös hoidmiseks ajutistes õppekohtades on tarvis vähemalt kahte juhendajat. Avalikel üritustes on probleemiks aeratsiooni demonstreerimine, kuna kompressori poolt tekitatud müra segab kõiki.

Õpilaste Teadusfestivalil läbiviidud tegevuskava on kirjeldatud tabelis 13.

Tabel 12. Teadusfestivali tegevuskava

Ülesanne	Ülesande eesmärgid	Õpilase tegevus
Vestlus	selgitada välja õpilase üldised teadmised joogiveest ja selle kasutamisest	õpilane vastab küsimustele vestluse vormis
Vee karedus	selgitada millest on vee karedus tingitud, mis on sellega kaasnevad probleemid ja kuidas neid lahendada	õpilane määrab vee karedust testeri abil
Raud vees	selgitad, kuidas satub raud põhjavette, mis on sellega kaasnevad probleemid ja milliste meetoditega toimub rauaärastus	õpilane määrab rauasisaldusetesteri abil ja hindab tulemust visuaalselt
Hägusus	selgitada, millest on tingitud vee hägusus. Saab kaasata õpilast arutelus, millise veega nad tavapärastelt kokku puutuvad	õpilane määrab hägusust testeri ja hindab visuaalselt

Haridusmessile „Intellektika“ loodi praktiline õpituba „Mis on vee sees“.

Külastajad pidid ära arvama, missugune on Aura pudelivee vesi, Aura veekeskuse basseinivesi, pehmendatud vesi, pöördosmoosiga töödeldud vesi. Selleks tuli kasutada oma meeli ja testreid. Pehmendatud ja pöördosmoosivesi saadi kohapealt stendist.

Eesti Maaülikooli veemajandus osakonnas koostati õppeprogramm „Mis on vee sees?“ Õppeprogramm koosnes sissejuhatavast loengust, kuidas vett puhastada ja erinevatest ülesannetest: veeteemalise ristsõna lahendamisest; oma meeltega ja veekaredus testeriga erinevate vete kindlaks tegemisest; kätepesuga kareda ja pehme vee ära arvamise, taaskasutatavast plastpudelist veepuhastusfiltri ehitamisest. Õppeprogrammist võttis osa 28 I kooliastme õpilast, kes olid jaotatud 4 rühma. Tegevus toimus õpipesades ning kestis kokku 2 tundi. Õppeprogrammi viisid läbi töö autor, veemajanduse osakonna teadur Egle Saaremäe ja õpetajad, kes juhtisid vastava õpipesa tegevusi.

Õpilased tulid suhteliselt hästi toime ülesannete lahendamisega, seejuures vajasisid nad juhendamist. Vesteldes õpetajatega, selgus, et õppeprogramm on jõukohane I kooliastmele koos juhendamisega. Õppeprogramm haakub loodusõpetuse teemadega, nt meeled, veeolekud, vesi meie ümber jne. Töölehel esitatud juhendi lugemine ja arusaamine osutus keeruliseks, kuna lastel tähelepanu hajus uues õpikeskkonnas.

Õppestendi saab kasutada ka veepuhastuse õppeaine raames, ning on võimalik ka siduda põhikooli ja gümnaasiumi õppekavadega. Muutes sellega õppeprogramm mitmekesisemaks ja uues praktilisi võimalusi omandada teadmisi veepuhastamisest.

Veega seotud teemad põhikooli ja gümnaasiumi astmes õppestendi kontekstis tabelis 13.

Tabel 13. Õpependi kasutamine õppetöös

Klass	Kooliprogrammi sisu	Seos stendiga
5. klass	loodusõpetus: vee kasutamine, põhjavesi ja seda mõjutavad kivimid, joogivesi	toorvee ja töödeldud vee võrdlemine. rauasisaldus, vee karedus, el. juhtivus, hägusus
7. klass	loodusõpetus: rõhk vedelikes	süsteemi torustikuarmatuuri, liitmike ja filtrite mõjul rõhukadu, vajalik rõhk filtrite tööks
8. klass	keemia: vee tähtsus ja puhastamine, keskkonna probleemid puhtaveega, pH, inimene ja vesi	pH mõõtmine kraaniveest, stendil töödeldud veest või kaasa toodud veest, raua- ja mangaani ärastus, hägususe määramine
8. klass	loodusgeograafia: kui suurt osa veest inimesed kasutavad, vee kasutamine ja kaitse, kust tuleb kraanivesi	joogivee kvaliteet, veeanalüüs testerite abil, veetöötus etapid, vesi tootmises, küttesüsteemides, kraanivesi vs pudelivesi
9. klass	keemia: vee karedus, vee pehmendamine, setitamine ja filtreerimine	pehmenduskolonne katsetamine, vee kareduse mõõtmine. Kareda vee tajumine meeltega. Vee aereerimine ja filtreerimine
Gümnaasiumiaste	geograafia: magevee puudus, vee kättesaadavus maailmas, pinna- ja põhjavesi	vee magestamine osmoosseadmel, permeaat ja kontsentraat, elektrijuhtivuse mõõtmine
Gümnaasiumiaste	keemia: vee karedus	pehmenduskolonne katsetamine, vee kareduse mõõtmine, ioonvahetusvaik









AS Tallinna Vesi koostas käsiraamatu „Sinine klassiruum“ (Tallinna Vesi 2018), raamat on riikliku õppekava toetava materjalina II kooliastme loodusõpetuses. Käsiraamat on ülesehitatud selliselt, et õpilased saaksid iseseisvalt veega seotuid teemasid läbi arutada ja katsetada. Õpilastele on koostatud töölehed ja praktilised ülesanded. Õpependi „Veeköök“ on võimalik lõimida raamatus teemadega: vee puhastamine käepäraste vahenditega ja vee puhastamine veepuhastusjaamas. Stendil on võimalik demonstreerida vee filtreerimist, aereerimist, teostada vee analüüsi ja tutvustada filter täitematerjale. Õpependi on võimalik siduda Järvamaa Kutsehariduskeskuse Veekäitlusoperaatori õppekavaga (Järvamaa Kutsehariduskeskus 2018). Kasutada stendi õppeainete joogiveekäitlus ja veekäitlusoperaatorite alusteadmised läbiviimisel. Õpilased saavad kasutada stendi praktilisetöö käigus, kuna stendi normaalseks tööks on tarvis filtrite vooluhulkasid ja pumba tööd reguleerida. Stend vajab ka regulaarset hooldust, sellega saaks praktiseerida operaatori oskusi.

4.3.4. Kasutusjuhend

Töö tulemusena koostati õpepeendi kasutusjuhend. Kasutusjuhend sisaldab ohutusnõudeid, käitamisjuhendit, transpordi juhendit ja hooldusjuhendit. Kasutusjuhendis on antud mõned variandid, kuidas on võimalik stendi üles seada. Kasutusjuhendis on selgitatud toruarmatuuri nimetusi, tingmärk ja otstarvet, välja võtte kasutusjuhendis tabel 14. Kasutusjuhend on lisa 1.

Kasutusjuhendis on välja toodud juhised (tabel 16), kuidas süsteemi täita veega nii kanistrite kui ka ühisveevärgi toitel.

Tabel 14. Skeemi tingmärgid koos selgitustega (lisa 1)

Nimetus	Tähistus	Tingmärk	Pilt	Otstarve
Ventiil	V.1	 LAHTI		Süsteemi seadistamiseks
		 KINNI		
Proovivõtukraan	PK.1			Veevõtmiseks, paigaldatud iga puhastusseadme järele
Reguleeriventiil	RV.1			Vooluhulga reguleerimiseks

Antud töös keskenduti peamiselt mahtfiltridele, kasutusjuhendis on välja toodud ka kuidas seada süsteem ülipuhta vee tootmiseks kasutades kõiki seadmeid, kaasa arvatud pöördosmoos- ja UV-seadet (tabel 15).

Tabel 15. Ventiiilide asendid jadamisi ühendamisel (lisa 1.)

Lahti		Kinni	
V.1	V.26	V.4	V.27
V.3	V.29	V.8	V.28
V.5	V.32	V.9	V.30
V.6	V.34	V.11	V.31
V.7	V.35	V.13	V.33
V.10	V.37	V.16	V.36
V.12	V.38	V.17	V.39
V.14	V.41	V.18	V.40
V.15	V.42	V.20	V.43
V.19	V.45	V.22	V.44
V.21	V.48	V.23	V.46
V.24		V.25	V.47

Tabel 16. Süsteemi täitmise juhend (Lisa 1)

Jrk nr	Kanistrite vee toitel	Ühendus ühisveevärgiga
1	täida Mahuti.1	sulge kõik ventiilid
2	ava ventiilid V.1, V.3, V.5, V.6, V.7, V.10, V.12	ava ventiilid V.4, V.5, V.6, V.7, V.10, V.12
3	sulge kõik ülejäänud ventiilid	ava proovivõtukraan PK.2, aeraatori mahuti täitub veega
4	lülita sisse Pump. 1	ava ventiilid V.15 ja V.14
5	aeraatori mahuti täitub veega, kui mahuti on täis avada ventiilid V.15 ja V.14	sulge PK.2
6	liivafilter täitub veega, et süsteemist õhk välja pääseks avada proovivõtukraan PK.3	liivafilter täitub veega, et süsteemist õhk välja pääseks avada proovivõtukraan PK.3
7	liivafilter on veega täielikult täitunud, kui PK.3 jookseb ainult vett	liivafilter on veega täielikult täitunud, kui PK.3 jookseb ainult vett
8	ava ventiilid V.19 ja V.21	ava ventiilid V.19 ja V.21
9	sulge PK.3	sulge PK.3
10	avada PK.4	avada PK.4
11	aktiivsõe filter on täielikult veega täitunud, kui PK.4 jookseb ainult vett	aktiivsõe filter on täielikult veega täitunud, kui PK.4 jookseb ainult vett
12	avada ventiilid V.24 ja V.26	avada ventiilid V.24 ja V.26
13	sulge PK.4	sulge PK.4
14	ava PK.5	ava PK.5
15	veepehmemendi on täielikult veega täitnud, kui PK.5 jookseb ainult vett	veepehmemendi on täielikult veega täitnud, kui PK.5 jookseb ainult vett
16	ava ventiilid V.29, V.33, V.35 ja PK.6	ava ventiilid V.29, V.33, V.35 ja PK.6
17	mehaaniline filter on veega täitunud, kui PK.6 jookseb ainult vett	mehaaniline filter on veega täitunud, kui PK.6 jookseb ainult vett
18	ava ventiilid V.38, V.37 ja PK.7	ava ventiilid V.38, V.37 ja PK.7
19	sulge PK.6	sulge PK.6
20	pöördosmoosiseade on veega täitunud kui PK.7 jookseb ainult vett	pöördosmoosiseade on veega täitunud kui PK.7 jookseb ainult vett
21	ava V.42 , V.45 ja PK.8	ava V.42 , V.45 ja PK.8
22	sulge PK.7	sulge PK.7
23	UV-seade on veega täidetud, kui PK.8 jookseb ainult vett	UV-seade on veega täidetud, kui PK.8 jookseb ainult vett
24	süsteem on veega täidetud	süsteem on veega täidetud

KOKKUVÕTE

Eestis on suured põhjavee varud ning vee kvaliteet on üldjoones hea. Ühisveevärgi vesi peab olema puhastatud sedavõrd, et oleks kaitstud inimeste tervis. See, mil määral tuleb vett töödelda kodumasinatega ja kütteseadmetega sobivaks, jääb iga tarbija enda otsustada. Veetöötlustehnoloogiatest ülevaate saamiseks projekteeriti ja ehitati Eesti Maaülikooli Maaehituse ja veemajanduse õppetoolis veetöötlustend, mis nimetati 'veeköögiks'. Stendil olevad veetöötlusteadmed on kompaktsed ja kiirliitmike abil ühendatavad, olulised sõlmed on läbipaistvad. Stend on hõlpsasti transporditav ning seda on võimalik käitada nii ühisveevärgi- kui kanistrivee toitel.

Töö eesmärk on katsetada stendil olevate filtrite puhastusvõimet, koostada kasutusjuhend ja anda soovitusi stendi kasutamiseks õppevahendina. Puhastusvõime katsetamisel kasutati kahte vett: karedat ühisveevärgivett ja rauarikast toorvett. Seadmete katsetamisel mõõdeti vee karedust Kennet Water-i testkomplektiga, pH määramiseks HM Digital PH-200 käsitesterit, elektrijuhtivuse mõõtmiseks HM Digital COM-100 käsitesterit, hägususe määramiseks Aqualytic turbimeter AL250T-IR testrit, rauasisalduse määramiseks Lovibond Comparator 2000+ testrit. Veepehmendi ionivahetusvaigu töötüklit katse viidi läbi kahel korral, 41,5 l/h ja 24,5 l/h vooluhulkade juures. Tulemusena selgus, et olenemata vooluhulgast suutis veepehmendi (kationiidi mahuga 1,35 l) 250 liitrit vee pehmemdada, see kattus ka arvutuslikult leitud töötükliga, pärast seda oli ionivaik ammendunud. Rauaärastamise katsetusel selgus, et aktiivsöe filter suutis efektiivsemalt raua eemaldada kui liivafilter. Kahe filtri jadamisi ühendamisel olid tulemused ligilähedased aktiivsöe filtri üksikult töötamisega. Filtrite jadamisi ühendamisel oli puhastatud vee hägusus väiksem. Mahtfiltrite töötüklid on piisavad, et käitada stendi kahepäevastel üritustel, ilma et peaks filtrite täitematerjale vahetama.

Õppevahendina kasutamiseks testiti stendi messidel ja festivalidel, eesmärgiga tutvustada vesiehituse ja veekaitse eriala ning teadvustada külastajaid veega seotud probleemidest ning lahendustes. Demonstreeriti veetöötlusteetodeid ning külastajad said ise analüüsida erinevate omadustega vett.

Tulevikus on stendil võimalik uurida uudeid filtermaterjale ja erinevaid voolurežiime ning kasutada õppestendi nii vesiehituse ja veekaitse erialal õppekavas kui ka gümnaasiumi ja põhikooli õppetöös.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Asi, U. (2011). Hoone tehnovõrkude joonestamine. Tallinn: Kirjastus Argo. 127 lk
- AS Emajõe Veevõrk. (2018). Joogivee üldkaredus. [veebileht] <https://www.evv.ee/kliendile/tootmine-ja-kvaliteet/joogivee-uldkaaredus/> (14.05.2018)
- AS Tallinna Vesi. (2018). Sinine klassiruum. [veebileht] https://www.tallinnavesi.ee/wp-content/uploads/2017/05/sinine-klassiruum_est.pdf (27.05.2018)
- Baquero, O. F., Bruggen, B. V. (2008). Design of an activated carbon columns plant for studying micro-pollutants removal. (Research study). Katholieke Universiteit Leuven. Leuven.
- Droste, R. L. (1997). Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment. New York: John Wiley & Sons, Inc 816 lk.
- Eesti vesi OÜ. (2018). Vee kareduse tabel. [veebileht] <http://eestivesi.ee/vee-kareduse-tabel/> (14.05.2018)
- EVS 835:2014. (2014). Hoone veevõrk. Eesti Standardikeskus.
- EVS 847-2:2016. (2016). Veevõrk Osa 2: Veetöötus. Eesti Standardikeskus.
- Grozine. (2014). RO Filters for Hydroponics Understanding Reverse Osmosis. Grosine LTD: [veebileht] <http://www.grozine.com/2014/03/02/ro-filters-hydroponics-understanding/> (14.05.2018).
- John Guest. (2018) Kataloog. [veebileht]: <https://www.johnguest.com/wp-content/uploads/2015/01/Drinks-Brochure-Z210587-0917-13-12-17-Website.pdf> (10.05.2018).
- Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid. Sotsiaalministri määrus 31.07.2001 nr 82. RT I, 27.09.2017, 2
- Järvamaa Kutsesõnastuskeskus. (2018) Veekäitlusoperaator, tase 5 õppekava moodulite rakenduskava. [veebileht] https://jkhk.ee/media/Rakenduskavad/Tehnika-_ja_ehitusope/20162017/Veekaetlus_tase_5_rakenduskava.pdf (27.05.2018)
- Karu, J. (2016). Veevõrk. Tallinn: TTÜ Kirjastus. 199 lk
- Veemajanduskavad 2015 – 2021. Keskkonnaministeerium. [veebileht] <https://www.envir.ee/et/eesmargid-tegevused/vesi/veemajanduskavad/veemajanduskavad-2015-2021> (17.05.2018)
- Libek, A. (2017). Veetöötuse õppestendi projekteerimine ja ehitamine. (Magistritöö). Eesti Maaülikool metsandus ja maaehitusinstituut. Tartu.
- Manahan, S.E. (2004) Environmental Chemistry (eighth ed.). CRC Press LLC, 816 lk.

Mazzei Injector Company, LLC. (2011) Removal of iron and manganese by aeration. Technical Bulletin No. 2. [veebileht]
http://mazzei.net/sites/default/files/files/Tech%20Bulletin%20Removal%20of%20Iron%20and%20Manganese%20by%20Aeration_v01-2011.pdf (27.05.2018)

Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse. Põhjaveekomisjon. Tallinn, 2004. 80 lk

Terviseamet. (2018) Joogivesi tarbijale. [veebileht]

<http://www.terviseamet.ee/keskkonnatervis/vesi.html> (14.05.2018)

Uri, U., Kulm, N. (2010). Reostusala määramine vee elektrijuhtivuse põhjal. – Keskkonnatehnika. 2010, nr 6, lk 8 [veebileht] https://keskkonnatehnika.ee/wp-content/uploads/2017/09/KKT_2010_06.pdf (24.05.2018)

LISAD

Lisa 1. Õppestendi "Veeköök" kasutusjuhend

Lisa 2. Tehnoloogiline skeem

Lisa 3. Skeemis ühendus jadamisi variandis 1

Lisa 4. Skeemis ühendus jadamisi variandis 2

Lisa 5. Skeemis ühendus rööbiti variandis 1

Lisa 6. Skeemis ühendus rööbiti variandis 2

Lisa 7. Skeemis aeraator liivafiltriga paaris

Lisa 8. Aktiivsöe filter üksikult koos segunemisega

Lisa 9. Veepehmendi üksikult koos segunemisega

Lisa 10. Pöördosmoos koos veepehmendiga

Lisa 11. Õppestendi spetsifikatsioon

Lisa 12. Pöördosmoosi spiraalmooduli spetsifikatsioon

Lisa 13. Membraanpumba spetsifikatsioon

Lisa 14. Kompressori kasutusjuhend

Lisa 15. Veearvesti spetsifikatsioon

Lisa 16. NAS kaugloetava anduri kasutusjuhend

Lisa 17. UV-seadme spetsifikatsioon

Lisa 18. pH testeri kasutusjuhend

Lisa 19. Elektrijuhtivuse testeri kasutusjuhend

Lisa 20. Hägususe testeri kasutusjuhend

**Lisa 21. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Ott Pedosk,
(sünnipäev pp/kuu/aa: 27/06/1992)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Õpepestendi "Veeköök" katsetamine ja kasutusele võtmine õppevahendina,
mille juhendajad on professor Mait Kriipsalu *PhD* ja teadur Egle Saaremäe,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 28.05.2018

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)